

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL DO SETOR DE
CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARANÁ**

**SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA
DA CONFEÇÃO DE VIGAS LAMINADAS COM
MADEIRA JUVENIL DE *Pinus elliottii* Engelm.**

AMARI SIMIONI

Curitiba - PR, 10 de fevereiro de 1978.

Agradecimento:

Ficam aqui expressos os agradecimentos aos professores Hans George Richter, Hans Peter Nock e Peter Karstedt, pelo interesse, apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho. Especialmente ao professor João Cesar Hellmeister pela atenção e colaboração prestada.

A firma Wiegando Olsen S.A. e a seus funcionarios, pela colaboração e empréstimo de seus equipamentos e instalações, para a realização de parte desta pesquisa.

A sra. Candida Maciel, pela ajuda prestada na pesquisa bibliográfica e ao professor Lincoln Lopes Teixeira pela colaboração e apoio.

A todos os amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Nome: AMAURI SIMIONI

Data de nascimento: 22 de julho de 1947

Naturalidade: Curitiba - Estado do Paraná

CURRÍCULO ESCOLAR

Curso Primário: Grupo Escolar Leônicio Correia
Curitiba - 1956 a 1959

Curso Ginásial: (1º ciclo) Internato Paranaense
Curitiba - 1960
Colégio N.S. Medianeira
Curitiba - 1961 a 1963

Curso Colegial: (2º ciclo) Colégio N.S. Medianeira
Curitiba - 1964 a 1965
Colégio Estadual do Paraná
Curitiba - 1966

Curso Superior: Curso de Engenharia Florestal do Setor
de Ciências Agrárias; U.F.Pr.
Curitiba - 1970 a 1973
Diplomado Engenheiro Florestal em
16 de dezembro de 1973.

ATIVIDADE EM EXERCÍCIO

- Professor Auxiliar de Ensino junto à disciplina de Tecnologia da Madeira no Curso de Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná - Curitiba.

CONTEÚDO

	página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DA LITERATURA	04
2.1. Vigas laminadas de madeira	04
2.1.1. Definição	04
2.1.2. Fatores que recomendam o uso	04
2.1.3. Comportamento estático	06
2.1.3.1. Teoria elástica	06
2.1.3.2. Teoria inelástica	07
2.1.3.3. Teoria da ação suportadora	08
2.1.3.4. Teoria estatística da resistência	08
2.1.4. Posicionamento de lâminas	12
2.1.4.1. Critério visual	12
2.1.4.2. Critério visual e rigidez	13
2.1.4.3. Efeito dos encaixes dentados	15
2.1.4.4. Efeito do peso específico	15
2.1.4.5. Madeira de baixa resistência	16
2.2. Adesivo	18
2.2.1. Adesivo - madeira	20
2.2.2. Fatores que afetam a adesão	21
2.2.3. Resorcinol-formol	21
2.2.4. Condições de prensagem	23
2.3. Requisitos de confecção	23
2.3.1. Espessura das lâminas	23
2.3.2. Conteúdo de umidade	24
2.3.3. Remoção dos defeitos	25
2.3.4. Emendas longitudinais	25
2.3.5. Beneficiamento	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1. Madeira	28
3.1.1. Coleta	28
3.1.2. Processamento	28
3.1.3. Eliminação dos defeitos	29
3.1.4. Encaixes longitudinais	29
3.1.4.1. Fechamento	30

3.1.5. Dimensionamento final	30
3.1.6. Lâminas.	31
3.2. Adesivo	31
3.2.1. Tipo usado	31
3.2.2. Aplicação de adesivo.	32
3.3. Vigas	33
3.3.1. Prensa	33
3.3.2. Montagem	33
3.3.3. Prensagem	35
3.4. Testes	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1. Beneficiamento da madeira	38
4.1.1. Desdobro.	38
4.1.2. Secagem	38
4.2. Propriedades das vigas	39
4.2.2. Peso específico básico aparente	40
4.2.3. Módulo de elasticidade	41
4.2.4. Módulo de ruptura	43
4.2.5. Tensão de cisalhamento	47
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
5.1. Madeira	50
5.2. Vigas	50
6. RESUMO	53
7. ZUSAMMENFASSUNG	54
8. LITERATURAS CONSULTADAS	55
APÊNDICE	63

1. INTRODUÇÃO.

O desenvolvimento das indústrias de vigas laminadas no Brasil é muito recente, e atualmente estão utilizando só madeira de Araucaria angustifolia, para a confecção de vigas laminadas. Dois motivos são apontados para esta utilização:

- indisponibilidade de outras espécies de madeiras, com propriedades bem determinadas.
- ~~de~~ desconhecimento do comportamento de vigas laminadas com outras espécies de madeira.

Estas duas dificuldades apontadas são consequências da falta de pesquisas por órgãos especializados, provocadas em parte, pelo pouco interesse demonstrado pelos construtores, que se baseiam em observações preliminares do comportamento e da confecção de vigas de Araucaria angustifolia.

Por estas razões, tem-se observado em muitas indústrias no Brasil, a inadequação no processo construtivo de vigas e a má observância dos requisitos básicos de confecção, não pelo desconhecimento destes requisitos, mas provavelmente pela falta de informações das implicações no comportamento da viga. Foi averiguado que em algumas indústrias, não há o mínimo conhecimento necessário das implicações do processo de confecção como por exemplo, no que tange à umidade da madeira para formar uma linha de cola resistente, no que tange à aplicação de cola e pressão necessária para uma boa adesão.

No que se refere ao conhecimento e comportamento de vigas com outras espécies, que não seja a Araucaria angustifolia, torna-se crítica a situação destas indústrias, como também a dos construtores. Critérios de posicionamento de lâminas dentro das vigas em função da classificação quanto à resistência, não é prática comum, devido a falta de informações de base. Esta falta de informações é bastante lamentada pelos fabricantes de vigas laminadas, que poderiam se beneficiar das vantagens deste procedimento.

De uma visão geral, observa-se que este setor da produção é bastante prejudicado e carente de informações de base.

A situação atual destas indústrias é crítica, em função da matéria prima empregada, (Araucária angustifolia) que se acha escassa no mercado e a preços aviltadores. Por outro lado, as alternativas de substituição desta matéria prima, ainda não estão bem definidas. Uma das possibilidades seria a utilização de madeira de Pinus elliottii, principalmente por sua disponibilidade a preços competitivos do que por suas qualidades mecânicas ainda não totalmente determinadas.

Atualmente as reservas artificiais de Pinus elliottii estão na época dos primeiros desbastes, fornecendo madeira de pequenas dimensões, de baixo peso específico e grande incidência de defeitos, resultando em primeira instância em um produto inadequado para o emprego em estado natural. A técnica de confecção de vigas laminadas, possibilita meios para a eliminação dos defeitos e dispersão dos mesmos dentro do elemento estrutural, tornando-se "a priori" uma das alternativas para o aproveitamento desta matéria prima na indústria madeireira.

Por outro lado as atuais e extraordinárias possibilidades do setor florestal advindas com o reflorestamento de Pinus elliottii, aliadas ao rápido crescimento e excelente produtividades, são importantes fatores que exigem um suporte tecnológico suficientemente desenvolvido para que seja dada condições de maior utilização desta espécie na indústria madeireira. Diante de tais circunstâncias, há necessidade de se pesquisar possibilidades de aproveitamento desta matéria prima.

Como proposição de uma das alternativas de aproveitamento em processos industriais, e da necessidade de suprir a demanda futuramente na construção civil, pesquisou-se sobre a viabilidade técnica da confecção de vigas laminadas com madeira de Pinus elliottii, proveniente de desbastes de povoamentos com 12 anos de idade.

Objetiva-se portanto com este trabalho, fornecer algumas informações e subsídios, sobre o método de confecção e comportamento de vigas laminadas, para:

- o desenvolvimento da indústria de vigas laminadas;

- o aproveitamento de madeira proveniente de povoamentos jovens de Pinus elliottii;
- o aumento da eficiência e da produtividade do setor madeireira.

2. REVISÃO DA LITERATURA.

2.1. Vigas laminadas de madeira.

2.1.1. Definição.

Viga laminada de madeira é a composição de peças de madeira de comprimentos variados, posicionadas e coladas em sentido paralelo às fibras, de acordo com as características de resistência da madeira e com as exigências pré-determinadas dos esforços atuantes, para formar um elemento único de alto desempenho estrutural e de dimensões requeridas pelo projeto de construção.

Este procedimento de posicionar madeira de diferentes graus de resistências mecânica, de pequena largura, de comprimentos modestos, para a obtenção de um elemento estrutural de alto desempenho, expande a aplicabilidade da madeira como um material de construção, progressivamente adaptável às necessidades, proporcionando deste modo, melhor aproveitamento da matéria prima (56).

2.1.2. Fatores que recomendam o uso.

A recomendação principal para o uso de madeira colada baseia-se principalmente na comparação das propriedades da madeira com outros tipos de materiais empregados na construção, ou sejam:

- boa relação densidade/resistência;
- bom módulo de elasticidade;
- pequeno coeficiente de expansão e condutividade térmica;
- boa resistência química à corrosão;
- fácil de trabalhar e proporciona uma linha de cola resistente;
- disponibilidade no mercado;

O procedimento de colagem de tábuas, compondo grandes vigas sólidas, possibilita o aproveitamento de madeira de pequenas dimensões na construção civil. As lâminas podem ser posicionadas conforme as regiões de maiores tensões e juntadas longitudinalmente por encaixes dentados ou encaixes em cunha ou ainda de topo. As juntas tipo dentadas atualmente são preferidas, pelo comportamento econômico e não por suas propriedades mecânicas (15;42;56).

Pela colagem, a superfície das tábuas são impregnadas com colas, isto significa um melhoramento da qualidade da madeira. Este melhoramento junto com a compensação dos efeitos dos defeitos, permite o uso, nos cálculos de fadiga, de um valor do módulo de elasticidade igual ou até superior ao da madeira sólida (56).

As formas de vigas mais comumente utilizadas são as vigas retangulares as de seção transversal em duplo T, contudo as vigas de seção transversal retangular são preferidas, apesar de serem estaticamente menos recomendadas, pelo fato de serem de fabricação mais simples. Estas vigas ainda podem assumir a forma reta ou curvada, dependendo dos propósitos de seu uso final (56).

Outro fator que recomenda o uso de vigas laminadas de madeira colada é a extrema liberdade de desenho e forma da viga e, em função disto, obtém-se o máximo das propriedades da madeira, no que se refere a otimização da seção da viga sob o ponto de vista estático (15;28).

Além do mais, podem ser produzidas em linhas de produção automáticas, reduzindo o custo de mão de obra, fato que as tornam realmente competitivas economicamente com madeira maciça. A pré-fabricação e a padronização são elementos significativos na racionalização da produção, tanto como no tempo de colagem. A pré-fabricação, bem como a colagem, é altamente facilitada pela pequena e relativa densidade da madeira, comparada com outros materiais construtivos (56).

Os custos de manutenção das vigas, são relativamente baixos. Na maioria dos casos uma simples aplicação de tinta aumenta as condições de uso.

Por outro lado tem-se algumas desvantagens, tais como:

- absorve umidade, e isto vem em detrimento das propriedades mecânicas além de provocar a contração e o inchamento;
- suscetibilidade ao ataque de fungos e insetos, no seu estado natural;
- é um material pouco inflamável mas combustível;
- limitada, em dimensões no estado sólido, e por

suas variações em qualidade (15;28;56;72).

Porém todas estas desvantagens podem ser superadas, tomando-se determinadas medidas para uma correta utilização, levando-se em consideração:

- o progresso no campo da preservação da madeira;
- o desenvolvimento técnico da colagem, que possibilita uma melhoria de qualidade pela eliminação prévia dos defeitos inerentes à madeira
- desenvolvimento tecnológico (15;56).

2.1.3. Comportamento estático.

O comportamento de vigas de madeira tem sido objeto de numerosas investigações e teorias desde há muitos anos.

Foi verificado que vários fenômenos peculiares à madeira, e mais especificamente às vigas de madeira, sujeita a esforço externo, não são satisfatoriamente explicadas através da clássica teoria elástica. Evidentemente, a origem destes fenômenos é devido a natureza anisotrópica da madeira e da presença de características redutoras de resistência típicas da madeira, tais como nós, grã irregular, rachaduras e outros (28).

2.1.3.1. Teoria elástica.

Conforme esta teoria, o comportamento da madeira é baseado na premissa de que a madeira se comporta como um material linearmente elástico. Esta é a atual base para se determinar o comportamento de vigas de madeira (1;2;52).

De acordo com a teoria elástica de um membro sujeito à flexão, pode-se afirmar que: a secção transversal, normal ao eixo central, longitudinal da viga, permanecerá plano após a aplicação da carga, ou seja, as tensões de tração e de compressão, localizados em extremos opostos desta secção, possuem valores idênticos, para qualquer momento fletor dado; e ainda, para qualquer momento fletor dado, as fibras localizadas a um certo nível da secção permanecem sem sofrer esforços, e por definição este ponto é denominado de linha neutra da secção. Pode ser demonstrado que para um material elástico a linha neutra está contida no centro geométrico da secção (30).

Pesquisas têm evidenciado contudo, que o comportamento de espécimes de madeira livre de defeitos, difere entre outros, nos seguintes itens com a teoria elástica:

- a linha neutra não está no centro geométrico da secção, desde a carga inicial até a ruptura;
- a relação carga/deformação é aproximadamente linear nos estágios iniciais da aplicação da carga. Do ponto conhecido como limite proporcional, esta relação começa a decrescer com o aumento da plastificação das fibras da madeira sujeita a compressão. Acima do limite proporcional, esta relação não é em nenhum momento linear;
- o módulo de ruptura depende da altura e forma da secção. Para qualquer forma da secção, com o aumento em altura, há um decréscimo do módulo de ruptura (28;30;72).

Esta teoria foi usada para desenvolver as expressões de carga/deformação, para vários estágios de carga, até a completa ruptura. Supõem-se que a ruptura ocorre próximo ao ser atingida a carga máxima, fato tido como verdadeiro em corpos de prova livres de defeitos, mas raro em vigas onde existem fatores redutores de resistência (28).

No caso de vigas de madeira de baixa qualidade, portanto, fracas em tração, a ruptura ocorrerá antes da plastificação da região de compressão da viga. A relação carga/deformação é linearmente distribuída até um ponto, onde se dá a ruptura brusca; este material é considerado portanto, quebradiço (28;30).

2.1.3.2. Teoria inelástica.

As principais suposições feitas para as análises inelásticas de flexão de vigas de madeira são as seguintes:

- em uma secção, as tensões resultantes de uma carga, são linearmente distribuídas;
- a ruptura ocorre quando é atingida a carga máxima na fibra extrema;

— o espécime deverá ser livre de qualquer defeito, caso isto não ocorra, pode afetar as suposições precedentes (28;30;72).

Esta teoria falha em não explicar a variação do módulo de ruptura, com a altura e forma da viga de madeira e outros pontos comuns à teoria elástica. Por estes motivos não foi aprofundada pelo autor. Contudo, maiores informações podem ser encontradas nas literaturas (28;30;72).

2.1.3.3. Teoria da ação suportadora.

Newlin e Trayer, propuseram a teoria da ação suportadora, para explicar a variação do módulo de ruptura com a forma e altura da viga de madeira (53).

Esta teoria assume que a fibra sob tensão de compressão, age como uma pequena coluna oprimida contra as outras fibras da parede celular, e que a lignina atua como um elemento enrijecedor e cimentador às fibras adjacentes. Portanto, em um bloco de madeira, sujeito a uma carga axial, todas as fibras são igualmente tensionadas e tendem a ceder simultaneamente. Em uma viga sujeita a flexão, o esforço aplicado varia de um máximo, na fibra extrema, a zero na fibra localizada na linha neutra. De acordo com esta teoria, o apoio de uma fibra extrema por outras menos tensionadas é possível em flexão.

A variação do módulo de ruptura com a altura é explicada por esta teoria, usando um gradiente de esforço variável ao longo da secção. Esta teoria foi aplicada para a derivação do fator de forma atualmente utilizado (28).

2.1.3.4. Teoria estatística da resistência.

Tem sido reconhecido por muito tempo, que quanto maior o tamanho de uma viga sujeita à flexão, menor é a sua resistência à flexão.

Newlin e Trayer em 1924, investigaram este fenômeno, e relataram esta diminuição em resistência com relação à altura da viga flexionada. Esta relação com a altura, mostrada na figura 1, foi desenvolvida a partir de dados obtidos de vigas com altura superior a 12 polegadas, ou sejam 30,5 cm (53).

Foi utilizada a seguinte relação para a obtenção da curva:

$$F = 1,07 - 0,07 d/2 \quad (1)$$

sendo "d" a altura da viga em polegadas; "F" relação de resistência

Com o desenvolvimento da construção de vigas laminadas de madeira, evidenciou-se que podiam ser utilizadas para grandes vãos, e portanto deveriam ser de grande tamanho, mas por outro lado a relação resistência/altura era um grande fator de limitação.

Dawley e Youngquist, em 1947, reavaliaram a relação altura/resistência para vigas de madeira, e desenvolveram uma nova relação. Esta relação, também mostrada na FIG.1, foi desenvolvida a partir de dados obtidos de vigas de madeira com altura superior a 16 polegadas, ou seja, 40,6 cm, utilizando a seguinte relação:

$$F = 0,625 \frac{d^2 + 143}{d^2 + 88} \quad (2)$$

sendo "d" a altura da viga em polegadas; "F" relação de resistência.

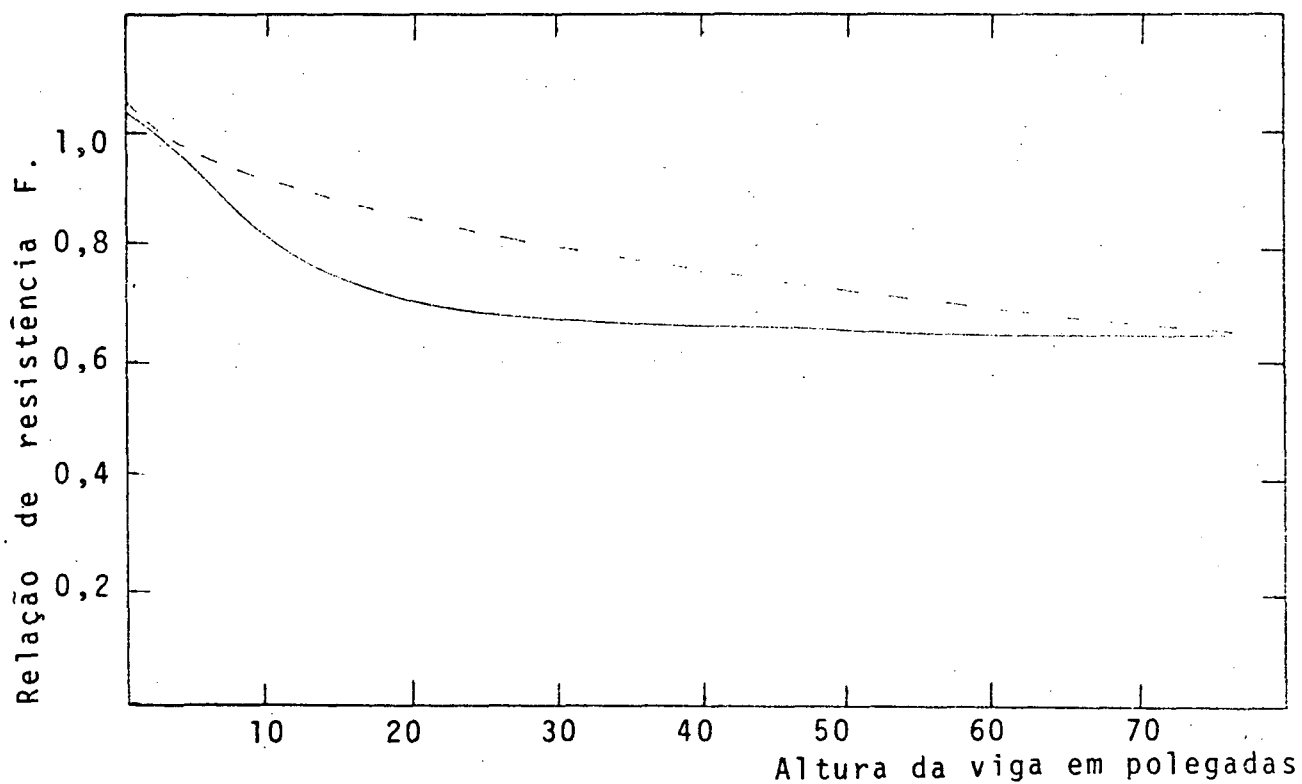
Estes resultados foram publicados em 1954, por Freas e Selbo, e se constituíram em recomendação para o uso em cálculo estrutural para madeira sujeita à flexão (in.28).

As curvas da FIG.1, representam a resistência média de uma viga de madeira com altura "d", comparada com a resistência de uma viga de 2 polegadas de altura.

Mas o tamanho das vigas laminadas de madeira continuaram a aumentar, e foi questionado se esta relação, obtida de dados oriundos de vigas de 40,6 cm de altura, se aplica a vigas com grandes dimensões (9).

Houve necessidade de melhor definir a relação altura/resistência. Pesquisou-se então porque o aumento causa uma diminuição na resistência.

A teoria estatística da resistência, desenvolvida por Weibull (73), foi utilizada por Bohannon (9) para explicar a variação do módulo de ruptura de vigas de madeira com altura e forma de secção, sob um ponto de vista estatístico.



--- (Newlin e Trayer).

— (Dawley Youngquist).

FIGURA 1 - Relação da resistência F , de vigas de madeira de altura d , em comparação com vigas de madeira com altura de 2 polegadas.

A teoria supõe que a ruptura de um espécime ocorrerá quando a tensão é igual a tensão que provocaria a ruptura em uma parte fraca ou debilitada da viga, se fôsse testada independentemente da viga. A teoria assume a existência de uma região debil onde a ruptura uma vez iniciada, se propaga com a aplicação subsequente de carga.

Bohannon, utilizando esta teoria, comparou resultados teóricos com dados obtidos de espécimes livres de defeitos, de vigas de Douglas Fir (Pseudotsuga menziesii), de 2,54 cm de altura por 35,6 cm de comprimento, e 80,0 cm de altura por 5,50 m de comprimento (9). Os resultados vieram a confirmar a relação altura/resistência proposta por Dawley e Younquist, concluindo que o efeito do tamanho sobre o módulo de ruptura é dependente do comprimento e da altura da viga, bem como do método de aplicação de carga e não é dependente da largura da viga. Ainda concluiu que vigas de madeira com duas cargas iguais, distribuídas simetricamente, terão um módulo de ruptura mais baixo que uma viga de igual volume com carga no meio do vão.

"National Design Specification" (52) e "American Institute of Timber Construction" (1), usaram como base os resultados de Bohannon, para a determinação da relação com a altura da viga, para vigas laminadas de madeira. Esta variação é conhecida como fator de forma:

$$C_f = \left(\frac{12}{d} \right)^{1/9}$$

C_f : Fator de forma.

d : Altura da viga em polegadas.

Deve-se levar em consideração, além do fator de forma, o efeito dos nós sobre a resistência de vigas laminadas de madeira.

Freas e Selbo em 1947, desenvolveram uma relação, em testes de flexão, da resistência da viga e a distribuição de nós dentro da mesma (24). Esta relação, levando em consideração somente a distribuição dos nós, foi reavaliada por Bohannon, onde foi considerado o efeito do fator de forma e da distribuição

dos nós, sob a resistência em flexão de vigas de madeira (11).

Bohannon, em 1966, avaliou estes defeitos com 6 vigas laminadas de madeira, de 24 cm de largura, 80,0 cm de altura e 15,2 m de comprimento, sendo que três foram confeccionadas com madeira livre de defeitos e três com madeira comumente encontrada no mercado, contendo fatores redutores de resistência. Os resultados demonstraram que as vigas compostas de lâminas livres de defeitos obtiveram, para o valor do módulo de ruptura 50% mais alto do que as vigas compostas de lâminas com fatores redutores de resistência. O módulo de elasticidade entre os dois tratamentos não teve uma diferença significativa (11).

2.1.4. Posicionamento de lâminas.

2.1.4.1. Critério visual.

A partir dos resultados encontrados por Bohannon, e observações de ruptura e dados de resistência de vigas laminadas de madeira de grandes dimensões, os investigadores concluíram que deveriam dar mais atenção às lâminas sujeitas à maior tensão dentro da viga (11).

Uma parte do trabalho de Bohannon foi reavaliado, dando atenção prioritária às lâminas externas da viga. Concluiu então que a adição de lâminas livres de defeitos, nas regiões de tensão, tiveram um pronunciado efeito sobre o módulo de ruptura, ou seja, adicionando-se 14% da altura da viga de lâminas sem defeitos, obteve um acréscimo de 32% sobre o módulo de ruptura, e ainda, com a adição de 5% de lâminas livres de defeitos, obteve-se 23% de acréscimo no módulo de ruptura (12).

Estes dados indicam que um aumento significativo da resistência à flexão pode-se obter, dando-se atenção especial a pequena porção da viga, ou seja, às lâminas externas da viga.

Pesquisas conduzidas no "Forest Products Laboratory" de Madison, por Moody e Bohannon em 41 vigas, de "Southern pine" * e Douglas Fir (Pseudotsuga menziesii), de grandes dimensões, foram confeccionadas posicionando-se lâminas de maior resistência nas camadas externas da viga. As rupturas das vigas foram classificadas em três categorias:

* denominação genérica dos Pinus do sul dos E.U.A.

- a. ruptura em compressão;
- b. ruptura através de fator redutor de resistência nas lâminas externas tracionadas;
- c. ruptura em juntas longitudinais nas lâminas externas ou nas lâminas mais internas.

Os resultados mostraram que somente em duas vigas, das quinze, houve ruptura inicial na região de compressão; nove, das outras treze, a ruptura foi devida a presença de nós, nas lâminas tracionadas; as outras quatro rupturas devem-se a associação de nó e junta longitudinal, duas delas nas lâminas externas e duas em lâminas interiores próximas às externas. As vigas em que houve ruptura na região de compressão suportaram cargas elevadas, enquanto que nas vigas em que houve ruptura inicial na região de tração, as cargas foram relativamente mais baixas (12:48).

Conclui-se então que, em geral, a colocação de lâminas externas de melhor qualidade resulta em vigas laminadas de madeira significativamente mais fortes. Por outro lado, a primeira lâmina, após as externas, na região de tração, foi considerada como uma possível fonte de ruptura.

Os resultados desta pesquisa foram usados como base para compor as atuais especificações da norma AITC (American Institute of Timber Construction) (1), para vigas laminadas de madeira.

2.1.4.2. Critério visual e rigidez.

A idéia de usar um critério de rigidez, em adição ao visual, para classificação de lâminas tem sido explorado por vários pesquisadores nos últimos anos (35;78;79).

Este critério é baseado nas seguintes considerações:

- limitações de deflexão, geralmente, são exigidos para membros sujeitos a flexão;
- A deflexão de uma viga é inversamente proporcional a rigidez da seção: $(E \times I)$
- qualquer fator que vier a aumentar o módulo de elasticidade contribuirá para reduzir a deflexão.

Portanto, se lâminas classificadas pelo critério

visual, fossem acrescidas com considerações sobre o módulo de elasticidade, permitiria uma classificação mais acurada da qualidade das lâminas. Sendo que o posicionamento destas lâminas na região crítica possibilitaria uma viga mais rígida e mais resistente. Esta idéia foi explorada por Koch na década de 1960, e reexaminada por Moody em 1970 (35;46).

Moody pesquisou uma série de 5 vigas, de grandes dimensões, onde as lâminas foram posicionadas em ordem decrescente de rigidez de fora para dentro da viga. O módulo de elasticidade de cada lâmina foi determinado usando-se a técnica de vibração. O módulo de elasticidade variou entre 155.000 kg/cm² para as lâminas externas, a 70.000 kg/cm² para as lâminas centrais. O módulo de elasticidade da secção total é dado por:

$$\sum_{i=1}^n E_i I_i / I \quad (4)$$

onde E_i , I_i são o módulo de elasticidade e o momento de inércia, respectivamente da i^{a} lâmina e n número de lâminas, e I é o momento de inércia da secção total. Esta série foi comparada com uma série similar, onde o módulo de elasticidade não foi usado para localizar as lâminas dentro da viga. A comparação entre as vigas usando o Critério Visual e Rigidez, com as vigas com lâminas posicionadas somente com o Critério Visual demonstram que as primeiras foram significativamente mais rígidas. O módulo de ruptura das vigas, com lâminas classificadas com o Critério Visual e de Rigidez, foi 14% maior do que aqueles classificados pelo Critério Visual (46).

Johnson, em 1971, confeccionou 54 vigas de grandes dimensões, com lâminas posicionadas e classificadas pelo método não destrutivo, para determinar o módulo de elasticidade e de ruptura das lâminas. Por este método foi possível prever com segurança o módulo de elasticidade da viga. Já o módulo de ruptura não foi possível, na mesma proporção do módulo de elasticidade (34).

Os resultados desta pesquisa formaram a base em

1971, para desenvolver o "Standard Specification for Structural Glued laminated timber Using" E "rated and Visually Graded Lumber", pela AITC - (American Institute of Timber Construction) (1).

2.1.4.3. Efeito dos encaixes dentados.

Nas pesquisas desenvolvidas por Moody (46) e Johnson (33), em vigas laminadas de madeira, não foram posicionados encaixes dentados, na região crítica, nas lâminas externas da viga. Contudo, o posicionamento destes encaixes, dentro de uma viga, é impossível controlar em uma planta em escala comercial.

Moody e Bohannan, em 1971, pesquisaram o efeito dos encaixes dentados posicionados na região crítica, nas lâminas externas em vigas laminadas de "Southern Pine"*. Concluíram que o valor do módulo de ruptura, para as vigas com encaixes dentados posicionados na região crítica, foi ligeiramente menor do que para as vigas sem encaixes na região crítica. Mas uma análise da variância dos dados indicaram que esta diferença não foi significativa ao nível de 95% de probabilidade. O valor do módulo de elasticidade permaneceu igual nos dois grupos analisados, contudo as lâminas foram posicionadas usando-se o critério visual de classificação. A ruptura das vigas testadas foi atribuída a fatores redutores de resistência e não aos encaixes dentados. Por outro lado é necessário um controle de qualidade bastante rígido, dos encaixes para que tais fatos sejam verdadeiros (49).

2.1.4.4. Efeito do peso específico.

O peso específico também tem sido proposto como outro método não destrutivo para avaliar a qualidade da madeira. Koch e Bohannan exploraram o peso específico, posicionando lâminas finas em pequenas vigas laminadas de madeira. As informações destas vigas feitas com lâminas delgadas, não podem ser diretamente aplicadas para vigas confeccionadas com madeira estrutural, mas tais informações podem ser indicativas (49). Contudo o efeito do peso específico na resistência da madeira estrutural, não é bem definido.

* denominação genérica dos Pinus do sul dos E.U.A.

Com respeito a classificação de lâminas utilizando-se o critério visual aliado ao peso específico, concluiu-se que o valor médio do módulo de ruptura para as vigas utilizando-se somente o critério visual, portanto sem o peso específico, foi ligeiramente superior. Contudo uma análise da variância dos dados indicou que esta diferença não foi significativa ao nível de 95% de probabilidade. O valor médio do módulo de elasticidade para ambos os casos foi igual, concluindo-se que o critério visual aliado ao peso específico, para a classificação de lâminas, não contribui para aumentar a rigidez da viga, em comparação com as vigas testemunhas utilizadas (49).

2.1.4.5. Madeira de baixa resistência.

Nenhuma pesquisa consultada até o ano de 1970, considera o uso de material de textura grosseira (madeira que contém mais de 4 anéis de crescimento por polegada, ou seja 2,54 cm), e a atual especificação para vigas laminadas de madeira nos E.U.A. (1), requer que toda a madeira usada na confecção de vigas laminadas seja de textura média ou melhor. O Brasil ainda não tem elaborado especificações para tal fim.

Mas com o desenvolvimento dos critérios de classificção de lâminas, e com os resultados positivos do posicionamento destas em regiões de maiores tensões nas vigas, fizeram com que os pesquisadores concluíssem que as lâminas internas da viga estão sujeitas a uma relativa e pequena tensão, e com isto, poderia ser possível aumentar significativamente a utilização de madeira de "textura grosseira" nas lâminas interiores.

Doyle e Markwardt em 1963, numa avaliação de madeira para fins estruturais de "Southern Pine",* incluíram um material que foi referenciado como "Especial" (19).

Dos resultados, conclui-se tratar-se de um material aproximadamente de textura grosseira, mas esta pesquisa foi muito limitada e as conclusões fornecem informações preliminares do comportamento deste material em flexão, e sobre o módulo de elasticidade esperado para este tipo de material.

Moody em 1974, avaliou o comportamento de vigas laminadas de madeira, contendo material com textura grosseira nas

* denominação genérica dos Pinus do sul dos E.U.A.

lâminas interiores, ligadas longitudinalmente por encaixes dentados. Do teste de flexão de 20 vigas de Douglas Fir (Pseudotsugamenziessi) conclui-se que, vigas contendo lâminas de baixa qualidade na região interna, requerem lâminas de alta qualidade nas regiões externas e consequentemente alta qualidade dos encaixes dentados. Por outro lado o valor do módulo de elasticidade encontrado para as vigas foi 7% menor do que o esperado, calculado da madeira em si. Esta discrepância foi atribuída ao cisalhamento devido a baixa rigidez das lâminas internas. Concluindo portanto da viabilidade da utilização deste material em vigas laminadas de madeira, e sugere modificações nas especificações existentes (45).

O mesmo autor (44) também avaliou o uso da combinação de duas espécies, uma de baixa resistência e outra de alta resistência, na composição de vigas laminadas de madeira. Utilizou-se de tres combinações ou sejam: $5/8$, $1/2$ e $3/8$ da altura da viga de material de baixa resistência.

Propos um modelo analítico para predizer o módulo de elasticidade e de ruptura e comparou com os resultados encontrados do teste de flexão. As vigas com $5/8$ e $1/2$ da altura de madeira de baixa resistência mostraram não diferir significativamente quanto ao valor do módulo de elasticidade. Contudo aquelas confeccionadas com $3/8$ da altura com madeira de baixa resistência evidenciaram pequena resistência em comparação com aquelas de $5/8$ e $1/2$ da altura com madeira de baixa resistência. Desta pesquisa pode-se concluir que a propriedade de resistência das vigas provavelmente mais afetada pela madeira de baixa qualidade seja a resistência ao cisalhamento, porém isto não foi um objetivo analisado. Como conclusão principal, afirma que consideravel quantidade de material de baixa resistência pode ser incluído na parte central das vigas laminadas de madeira, e que as propriedades de resistência da viga dependem da qualidade das lâminas externas, portanto localizadas nas regiões de maior tensão da viga. Sugere por último, estudos para a inclusão em especificações, tais como as da AITC (American Institute of Timber Construction) (1).

2.2. Adesivo.

A obtenção de juntas coladas de alta eficiência, requerida em membros estruturais, depende da qualidade da superfície a ser colada, do conteúdo de umidade das mesmas e do adesivo.

O adesivo empregado em vigas laminadas de madeira, deve possibilitar ao membro estrutural, operar sob as mais rigorosas condições de exposição. Deve portanto, possuir resistência à água, variações de temperatura, ataques de fungos e ser inerte à corrosão química (15).

Outra qualidade requerida quanto à resistência, é de o adesivo ter, na maioria das vezes, resistência maior ou igual a da madeira, no que se refere ao cisalhamento, e ser tão durável quanto a madeira (27).

Tomando-se por base as especificações da "British Standard Specification" (in 15), os vários tipos de adesivo são classificados quanto à durabilidade, da seguinte forma:

- Tipo WPR - adesivo à prova de água e vapor;
- Tipo BR - adesivo resistente ao vapor;
- Tipo MR - adesivo resistente à umidade e moderadamente resistente quanto à ação de vapor;
- Tipo INT - adesivo resistente à água fria, e não resistente à micro organismos.

Tomando-se como base a classificação dos adesivos quanto à durabilidade, sugerido por Chugg (15), nota-se que os adesivos do tipo WPR, ou sejam, a base de fenol-formol ou resorcinol-formol são os que satisfazem as condições requeridas para o desempenho de membros estruturais. FIG.2.

TIPO	ORIGEM		DURABILIDADE				
	NATURAL	SINTÉTICO	WPR	BR	MR	INT	
Animal	X					X	
Amido	X					X	
Proteína	X					X	
Fenol Formol		X	X				
Urêia Formol		X			X		
Resorcinol Formol		X	X				
Melamina Formol		X		X			
Polovinil Acetato		X				X	

FIGURA 2 - Classificação dos adesivos quanto a durabilidade, segundo Chugg (15).

2.2.1. Adesivo - madeira.

Em materiais porosos, tais como a madeira, para a formação de uma boa linha de cola deve haver adesão mecânica e adesão específica do adesivo.

A adesão mecânica é provavelmente a de menor importância. É baseada na suposição de que o adesivo penetra nas células e cavidades da superfície da madeira por pressão exterior, e ao endurecer forma projeções tentaculares dentro das cavidades. É sabido que com materiais fibrosos, o adesivo penetra dentro dos poros do aderente, solidificando-se em torno deles, e age como um gancho, fazendo com que os dois materiais não possam ser separados por simples pressão ao longo da linha de ação da cola (5).

Segundo Brown e Truax, para a obtenção de juntas resistentes de madeira é necessário obter-se um filme contínuo do adesivo, e concluíram ainda, que não há correlação entre a resistência da junta e a quantidade ou profundidade de penetração do adesivo nos vasos ou membranas da madeira, mesmo com adesivo suficiente para formar um filme contínuo (in. 15).

Suchsland chegou as mesmas conclusões mencionadas acima, a partir de uma investigação de penetração de adesivo, e seu efeito na resistência da junta colada. Concluiu que nem a profundidade de penetração, nem a quantidade de adesivo aplicado, têm relação com a resistência da linha de cola, quando se tem uma superfície plana, uma distribuição uniforme do adesivo e uma pressão adequada que assegure um perfeito contacto entre as superfícies. Quando uma junta é feita nestas condições, a penetração do adesivo não é necessária (in. 15).

A teoria específica de adesão, preconiza que existe força de atração molecular entre o adesivo e a superfície do sólido. Quando se trata de material poroso, a adesão específica não é menos importante, porque o adesivo penetra nos poros e cavidades celulares, umectando as paredes internas, e com isto aumentando a superfície de ação exposta ao adesivo (27).

As forças moleculares de atração são influenciadas pela polaridade do adesivo e do aderente. A madeira é constituída de um material polar, possuindo em geral grupos hidroxílicos

livres na molécula de celulose, e com isto apropriada para colagens resistentes com adesivos fenólicos, uréia e outros tipos de adesivos solúveis, constituídos também de moléculas polares. A ligação entre a superfície da madeira e um adesivo não será mais resistente do que o total das forças de atração moleculares que operam na interface madeira/adesivo (15).

2.2.2. Fatores que afetam a adesão.

Com relação a madeira, pode-se citar que as quantidades relativas de lenho primaveril e outonal, alburno e cerne, que ocorrem nas interfaces das juntas, influenciam a resistência da linha de cola. As faixas de madeira leve, isto é, lenho primaveril e alburno, visualmente colam mais facilmente do que as faixas de madeira dura, isto é, cerne e lenho outonal. Em geral, quanto mais alto o peso específico da madeira mais difícil de se obter linha de cola resistente (61).

Para evidenciar mais este fato, Chugg afirma que entre uma viga laminada composta de lâminas cortadas no sentido tangencial, e outra composta de lâminas cortadas no sentido radial, há uma diferença significativa na resistência a linha de cola ao cisalhamento, porque a linha de cola entre as lâminas cortadas em sentido radial se comportam desigualmente no plano da colagem (15).

A eficiência da linha de cola depende grandemente da preparação da superfície da madeira a ser colada. Tem sido demonstrado que superfícies que vão ser coladas devem ser tão lisas quanto possível e livres de contaminação. Antes da colagem as superfícies da madeira devem ser aplainadas, com equipamentos apropriados, que produzam uma superfície de corte limpo, sem comprimir ou danificar as fibras. Esta operação deve ser efetuada no máximo 48 horas antes da colagem para que não haja a aderência de substâncias estranhas à superfície e distorções devido às trocas de umidade (15).

2.2.3. Resorcinol-formol.

Resinas sintéticas a base de resorcinol, meta-dihidroxi benzeno, são relacionadas quimicamente ao fenol, embora suas reações com o formaldeído sejam similares ao fenol, sua reati

vidade com o formaldeído é maior. Isto é devido ao fato que o resorcinol tem dois grupos hidroxílicos ativos e o fenol só um.

Este adesivo tem uma vida útil de aproximadamente 12 meses à temperatura de 15°C a 21°C, desde que armazenado em recipiente hermeticamente fechado, para prevenir a perda do solvente. Este adesivo tem a vantagem de ser de reação neutra, e produzir fortes linhas de cola, com a maioria das espécies, em temperatura acima de 25°C e com algumas coníferas à temperatura levemente abaixo desta. Contudo a resistência da linha de cola, não deve ser confundida com a durabilidade.

O "Forest Product Laboratory", Madison, Wis., em pesquisas sobre a abertura da linha de cola, em vigas laminadas de madeira, com Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) e "Southern Pine", concluiu que resinas do tipo resorcinólicas necessitam de cura bem completa, para desenvolverem resistência máxima à abertura da linha de cola (80).

Tem sido sugerido que juntas feitas com resorcinol, em madeiras para fins estruturais, possuem a máxima resistência, com temperaturas acima de 60°C (61).

Os adesivos resorcinólicos são normalmente capazes de resistir severas condições de exposição, incluindo calor e umidade, e a resistência da linha de cola é determinada pela habilidade da madeira em resistir as condições de exposição, desde que a linha de cola tenha sido feita de maneira apropriada (61).

Esta propriedade de resistir a severas exposições fazem dos adesivos resorcinólicos o escolhido para uso em vigas laminadas de madeira, para pontes, pequenos navios e para construções de estruturas de grande porte.

Para vigas laminadas de madeira de coníferas, que devem ser usados em exposição externa, onde o conteúdo de umidade de equilíbrio excede a 18%, é recomendado um tempo de prensagem de 16 horas a 40°C de temperatura (15). Após este período as vigas devem permanecer em acondicionamento para alcançar uma boa resistência da linha de cola.

Para a confecção de vigas laminadas normalmente é exigido um "tempo de panela" do adesivo bastante longo.

* denominação genérica dos Pinus do sul dos E.U.A.

Para isto, deve-se imergir o recipiente contendo o adesivo a base de resorcinol em um agente resfriador, tal como água fria ou gelo seco. O resfriamento aumentará a sua viscosidade. Se isto ocorrer, deve-se tomar atenção em proporcionar uma temperatura adequada da linha de cola, por ocasião da prensagem, para proporcionar uma linha de cola eficiente e durável (61).

2.2.4. Condições de prensagem.

Cada tipo de adesivo possui condições de prensagem caracterizadas pela sua composição e formulação química. É aconselhável seguir as especificações do fabricante do adesivo, do que estabelecer condições gerais para cada tipo de adesivo (61).

Para o adesivo a base de resorcinol-formol, a cura dá-se em temperatura ambiente, sendo esta a determinante da duração da prensagem. Para a temperatura de 25°C, a cura da cola dá-se em 24 horas, e a 30°C, em 18 horas (15).

A pressão a ser utilizada para este tipo de resina é regida pela espécie de madeira, ou seja, por seu peso específico e sua estrutura anatômica. Para o Pinus, no caso, aconselha-se uma pressão de 7 kg/cm².

2.3. Requisitos de confecção.

2.3.1. Espessura das lâminas.

Do ponto de vista econômico pode-se utilizar lâminas de grandes espessuras para a composição de vigas laminadas de madeira. Por razões tecnológicas a espessura é limitada a 30 mm, porque acima desta medida dá-se o aparecimento mais acentuado das tensões provocadas pela contração e inchamento da madeira. Somente em casos de utilização de madeiras com qualidades uniformemente distribuída, pode-se admitir espessuras até 40 mm. Para utilização de vigas laminadas de madeira em regiões onde há grande variação de umidade, a espessura não deve exceder 24 mm (15).

O referido acima, aplica-se somente a vigas laminadas de madeira reta, porquanto para vigas tipo arco, a espessura das lâminas é governada pelo raio de curvatura da viga. Fica evidente porém, que o uso da máxima espessura, permitida pelo raio de curvatura, é vantajosa no aspecto econômico (15).

A variação da espessura da lâmina não deve variar mais do que 0,5 mm ao longo do seu comprimento (68).

2.3.2 Conteúdo de umidade

As lâminas devem ter um teor de umidade tal que possibilite uma linha de cola resistente, e que este teor de umidade somado à quantidade de água contida na cola, provoque um teor de umidade de equilíbrio aproximado àquele em que a viga estará sujeita, por ocasião do seu uso final.

Quando se aplica o adesivo nas lâminas, o conteúdo de umidade destas aumenta. Este incremento de umidade depende da espessura das lâminas, do tipo do adesivo, da espécie de madeira utilizada e da quantidade do adesivo aplicado (15).

Em termos gerais, sem levar em consideração as especificações do adesivo, considera-se satisfatório para fins estruturais um teor de umidade das lâminas em torno de $15 \pm 3\%$ (15; 68).

A porcentagem de contração e inchamento varia com a espécie de madeira e com a direção da grã, sendo que a maior variação dá-se no sentido tangencial, no radial menor e no sentido longitudinal, por ser tão pequena, esta variação pode ser desprezível.

Devido à taxa de contração e inchamento no sentido tangencial e radial serem diferentes, é recomendado não dispor lâminas juntas orientadas em sentido radial e sentido tangencial dentro de uma mesma viga. FIG.3.

Devido ao efeito da contração e inchamento, a utilização de duas espécies de madeira, para melhorar a resistência da viga, condiciona o uso da viga permanentemente em condições secas ou de pequenas trocas de conteúdo de umidade.

O efeito desigual da contração e inchamento provoca o aparecimento de tensões oriundas da espécie mais resistente, causando danos a espécie mais fraca, e reduzindo a resistência da viga, embora nenhum dano à linha de cola possa ser observado. Como

guia, é recomendado que duas espécies não sejam utilizadas no mesmo membro, a menos que possa ser provado que o coeficiente de contração não varie mais de 25% entre elas (15).

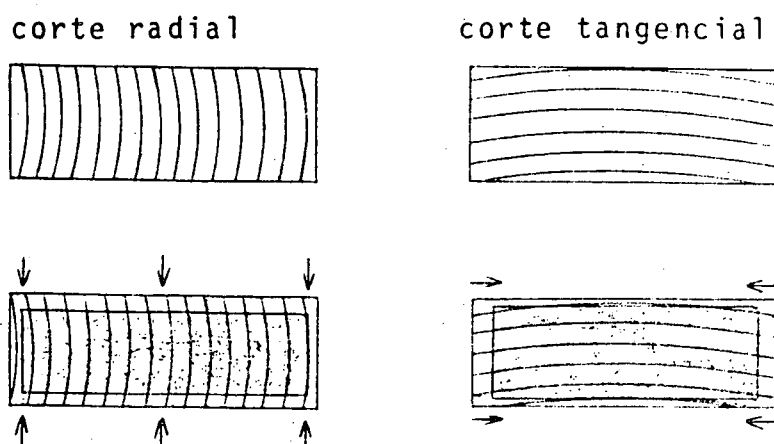


FIGURA 3. Contração em corte radial e em corte tangencial. Desenhos de Chugg (15).

2.3.3. Remoção dos defeitos.

A remoção dos defeitos como nós e outros defeitos das lâminas, devem ser compensados com a inserção de madeira livre de defeitos. Esta operação possui dois objetivos, ou sejam:

- Para cumprir especificações, tomando em conta a aparência da viga exposta;
- Os nós não oferecem a formação de uma linha de cola resistente, e aqueles localizados nos bordos das lâminas, sujeitos a mudanças de conteúdo de umidade, frequentemente parecem ser a causa da abertura da linha de cola. A abertura da linha de cola se inicia na linha adjacente aos nós, e desenvolve-se ao longo da linha de cola de cada lado do nó (15).

2.3.4. Emendas longitudinais.

Os tipos mais comuns de emendas longitudinais utilizados na composição de lâminas para vigas laminadas de madeira

são em cunha, encaixe dentado e juntas de tampo. Os encaixes dentados não são os mais indicados para suportarem tensões, principalmente as de tração mas por razões econômicas e práticas, são preferidos para a confecção de vigas laminadas de madeira (56).

Pesquisas realizadas pelo "Forest Products Laboratory" Madison, Wis., para avaliar a resistência dos encaixes dentados, evidenciaram que um dos fatores que afeta a resistência deste tipo de encaixe é a qualidade do acabamento, e a somatória das áreas longitudinais de colagem, além da espécie de madeira e do tipo de adesivo utilizado (10; 42).

Existem vários fatores que afetam a resistência dos encaixes dentados, ou sejam, inclinação, espessura das pontas, e o comprimento dos "dentes", bem como a pressão utilizada para fechar o encaixe.

Tem sido sugerido que para resistência mais alta, o número de "dentes" seja reduzido ao mínimo, porque a ponta dos "dentes" são pontos de fraqueza. Quanto mais larga a ponta, maior é a superfície, disposta de tampo, e com isto menor sua resistência. Por outro lado há evidências sugerindo que a inclinação acima de 1:12 reduz a eficiência deste tipo de encaixe. A pressão necessária para produzir um fechamento satisfatório das juntas provavelmente depende da espécie (60; 64).

Sunley e Dawe concluíram que o tipo de encaixe dentado testados por eles, em tração, possuíam a metade da resistência da madeira e que estes resultados foram idênticos aos encontrados para encaixes em cunha com uma inclinação de 1:8 (in.15).

Pesquisas conduzidas pelo "Forest Products Laboratory" Madison, Wis., consideram este tipo de encaixe apropriado para uso em vigas laminadas de madeira, considerando no entanto que os encaixes dentados são de baixa a média eficiência em tração, e alta eficiência em tensões de compressão, e portanto recomenda-se um controle de qualidade bastante rigoroso para surtir os efeitos requeridos (42).

2.3.5. Beneficiamento.

As lâminas depois de prontas, isto é, coladas longitudinalmente, deve-se preparar suas superfícies para receber cola.

É preconizado que superfícies bem aplainadas, preparadas no máximo 48 horas antes da aplicação da cola, evitando-se desta maneira as contaminações das superfícies, ou distorções devido as trocas de umidade, proporcionam linhas de cola de boa qualidade.

O bitolamento final das lâminas reduzirá a espessura às especificadas, removendo o excesso de cola e irregularidade nas juntas longitudinais. A variação da espessura, após esta operação, não deve exceder mais do que 2 mm ao longo do comprimento da lâmina. Esta tolerância é baseada pela inabilidade dos adesivos produzirem juntas de alta resistência com a espessura da linha de cola maior do que 0,5 mm, a qual é a máxima espessura de linha de cola permitida pela "British Standard 1204" (in.15).

Outra razão para esta tolerância pequena da espessura é a necessidade de assegurar um espalhamento homogêneo do adesivo nas lâminas.

3. MATERIAL E MÉTODOS.

3.1. Madeira.

3.1.1. Coleta.

A madeira de Pinus elliottii, utilizada para a confecção das vigas de madeira laminada, proveio de desbastes de povoamentos artificiais, localizados nos municípios de Quatro Barras Pr.; Irati, Pr. e Campo Bonito, S.P.

Por ocasião da realização do desbaste, as árvores contavam com 12 anos de idade. As árvores coletadas aleatoriamente possuíam em média 28,5 cm de diâmetro, à altura do DAP.

Utilizou-se para o estudo, somente uma tora de 3,00 m de comprimento, de cada árvore amostrada, sendo esta medida a partir do colo de cada árvore. Foi adotado este procedimento para aumentar o rendimento, por ocasião do desdobro das mesmas em tábuas.

De cada localidade obteve-se 40 toras, de 40 árvores, amostradas aleatoriamente, sendo 35 delas utilizadas para o desdobro em tábuas; e 5 em forma natural, das quais foram confeccionadas as vigas testemunhas, e corpos de provas para determinação das propriedades físico-mecânicas da madeira.

As toras destinadas a confecção de vigas foram desdobradas em 2 tipos de tábuas, um medindo 38 mm de espessura e outra 25,4 mm de espessura, por 3,00 m de comprimento, em serraria tipo convencional.

3.1.2. Processamento.

As tábuas foram secadas até 8% de umidade em uma estufa artificial de secagem. Utilizando-se para tal, 2,5 como gradiente da secagem, 65°C como temperatura máxima. Após a secagem, foram cepilhadas em plaina, com velocidade de 18 m/min. Desta maneira obteve-se duas dimensões:

- tábuas com 20 mm de espessura, 80 mm de largura e 3,00 m de comprimento, denominadas tipo PF.
- tábuas com 30 mm de espessura, 80 mm de largura e 3,00 m de comprimento, denominadas tipo PG.

Para a determinação do teor de umidade, foram retiradas amostras de 20 mm de comprimento.

3.1.3. Eliminação de defeitos.

Todas as tábuas passaram por um processo de eliminação de defeitos, como:

- nós com diâmetro superior a 30 mm em qualquer posição da tábua;
- "quinta morta" e defeitos provenientes de "vergamento" por ocasião do dimensionamento efetivo na planta.

Nesta operação, utilizou-se uma serra circular tipo pêndulo. Foi retirado da tábua a parte que continha o nó, ou outro defeito. Desta forma, as tábuas ficaram reduzidas de seu comprimento inicial, para tábuas de 0,50 m até no máximo 1,50 m.

3.1.4. Encaixes longitudinais.

As tábuas de comprimento variando desde 0,50 m até 1,50 m foram levadas a uma malheteira, da marca SAUTER, onde confeccionou-se os encaixes dentados longitudinais, de acordo com a FIG.4.

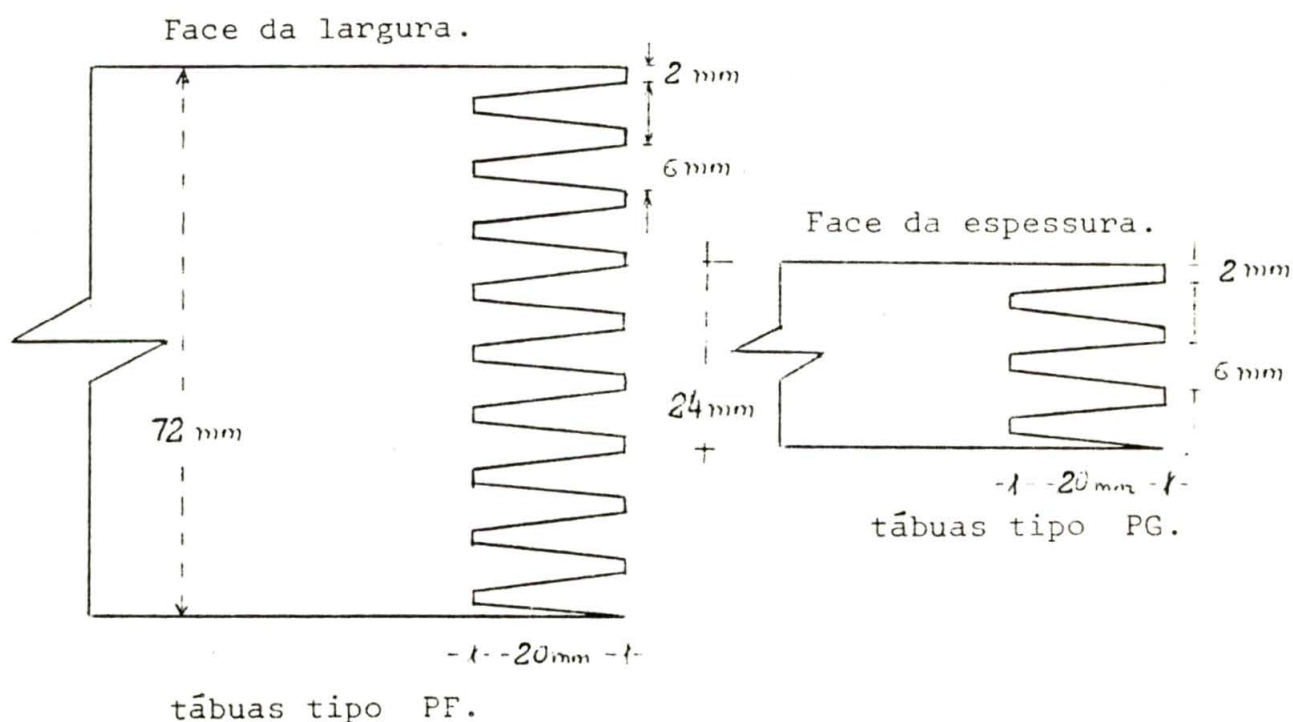


FIGURA 4 - Encaixes dentados utilizados nas tábuas tipo PF e PG.

As dimensões destes encaixes são as mesmas que são utilizadas pela indústria moveleira. Utilizou-se em vigas laminadas estas dimensões por questões de facilidade, e também para testar o seu comportamento em madeira de *Pinus sp.*, para fins estruturais.

Feito o encaixe em todas as tábuas, estas foram empilhadas ao acaso, de maneira a se misturarem aleatoriamente, tábuas de diversos comprimentos, e de procedências diferentes.

3.1.4.1. Fechamento.

Na colagem destas peças, para obter tábuas de 4,30 m de comprimento, utilizou-se uma passadeira de cola automática, apropriada para a aplicação neste tipo de encaixe. Para a união das peças, empregou-se a cola à base de resorcinol, a mesma utilizada para a junção das lâminas.

O fechamento dos encaixes, em processo contínuo, foi realizado através de aparelhagem da marca SAUTER, regulada para obter pressão horizontal de $1,4 \text{ kg/cm}^2$, e pressão vertical de $1,9 \text{ kg/cm}^2$, pressões estas recomendadas pelo fabricante, para madeiras moles, de maneira a fechar perfeitamente os encaixes, sem provocar danos na madeira.

Nesta operação foram retiradas amostras aleatórias dos encaixes, com uma destopadeira de pêndulo para a confecção de corpos de prova, com a finalidade de avaliar a resistência dos mesmos à tração paralela às fibras.

3.1.5. Dimensionamento final.

Após o período de cura as tábuas, já com 4,30 m de comprimento, foram bitoladas, com as seguintes dimensões finais:

- tábuas tipo PF, 13 mm de espessura e permanecendo com 80 mm de largura;
- tábuas tipo PG, 24,3 mm de espessura e permanecendo com 80 mm de largura.

Com o procedimento descrito, obteve-se as tábuas prontas, que compuseram as vigas de madeira colada. Confeccionou-se então, 25 vigas de madeira laminada sendo:

- 15 unidades de 195 mm de altura, 80 mm de largura e 4,00 m de comprimento, obtidas da colagem

de 15 tábuas tipo PF, denominadas vigas VPF.

10 unidades de 19,5 mm de altura, 80 mm de largura e 4,00 m de comprimento, obtidas da colagem de 8 tábuas tipo PG, denominadas vigas VPG.

Todas as vigas depois de prontas foram bitoladas na largura para 72 mm, utilizando-se uma cepilhadeira, portanto a dimensão final de todas as vigas laminadas de madeira ficaram sendo 19,5 mm de altura, 72 mm de espessura e 4,00 m de comprimento.

3.1.6. Lâminas.

As tábuas por ocasião da prensagem, continham em média 14,1% de umidade, determinado pelo método de pesagem em balança analítica.

Apresentavam de 2 a 4 encaixes dentados por lâmina localizados aleatoriamente ao longo do comprimento.

O número de anéis de crescimento contido nas lâminas variaram de 4 a 7 tendo em média 5,30 anéis de crescimento por secção transversal. As toras foram desdobradas de maneira que se obteve a maioria das lâminas com o corte no sentido radial.

A largura dos anéis de crescimento variou de 19,5 mm como valor máximo, notadamente de anéis localizados próximos da medula e 6,0 mm como valor mínimo, em média de 9,6 mm.

Sendo as árvores utilizadas para a obtenção das tábuas, de 12 anos de idade, portanto fornecendo toras de pequeno diâmetro, as tábuas geralmente continham em sua secção transversal madeira juvenil e até a medula da árvore, evidentemente constituídas de madeira de baixa resistência mecânica.

3.2. Adesivo.

3.2.1. Tipo usado.

O adesivo utilizado para a confecção das vigas laminadas de madeira, denominado comercialmente por Cascophen RS 216 fabricado pela Alba S.A. Indústrias Químicas, é uma resina sintética a base de resorcinol em solução de álcool e água, especialmente recomendada para colagens resistentes à água fria ou fervente.

Conforme as especificações do fabricante, esta cola à temperatura de 20°C, tem uma vida útil de 4 horas, sendo os

tempos de montagem e prensagem recomendados conforme a FIG. 5.

O tempo requerido, após a prensagem, para alcançar o máximo da resistência da linha de cola, é de 8 a 10 dias, mantidas em repouso, à temperatura ambiente.

Tempo máximo de montagem (minutos).

Temperatura ambiente da madeira e da cola	20°C	27°C	32°C	38°C
Montagem aberta (superfícies expostas)	15	10	7	5
Montagem fechada (superfícies sobrepostas)	60	40	40	15

Tempo mínimo de prensagem (horas).

Temperatura ambiente da madeira e da cola	20°C	24°C	27°C	32°C
Tempo sob pressão	8-10	6-8	4-6	4-5

FIGURA 5 - Informação do tempo de montagem e de prensagem para o adesivo Cascophen.RS 216 M.

3.2.2. Aplicação de adesivo.

Nas lâminas, previamente limpas de qualquer resíduo, foram aplicadas manualmente 300 g de cola por metro quadrado, de linha dupla.

Para se ter segurança da aplicação exata desta quantidade, calculou-se o peso de cola requerido para cada lâmina, e foi aplicada individualmente, por intermédio de um rolo ranhurado apropriado para aplicação de colas.

Imediatamente após a aplicação da cola, as lâminas foram levadas a prensa, na mesma ordem que havia sido montada previamente, até completar a formação da viga.

O tipo de prensa, utilizada permitiu a prensagem simultânea de duas vigas, sendo uma colocada abaixo e outra acima do parafuso de aplicação de força.

3.3. Vigas.

3.3.1. Prensa.

A prensa para a confeccão de vigas de madeiras colada foi elaborada nos laboratórios de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais da U.F.Pr., baseada em literatura. O desenho e as dimensões foram desenvolvidas com a finalidade de confeccionar as vigas do presente estudo, FIG.6.

A base e o assentamento foram construídos de madeira Peroba (Aspidosperma polyneuron): os parafusos de aço cromo níquel e os suportes de chapa de ferro fundido.

O conjunto da prensa foi chumbado no piso, para se obter uma maior rigidez, e alinhamento dos suportes, tendo-se desta maneira, a viga de madeira colada perfeitamente esquadrejada e reta.

Todo o conjunto da prensa foi coberto por uma construção de compensados, onde foram fixadas 8 lâmpadas de aquecimento, distribuídas linearmente no sentido do comprimento da prensa, a uma distância de 500 mm da viga mais próxima. Este sistema possibilitou, durante o período de prensagem a temperatura média de 42°C, e com isto, 50% de umidade relativa, no interior. A temperatura na linha de cola não foi possível determinar.

A aplicação da força é feita, por intermédio de um torquímetro, aos parafusos, pelo lado posterior da prensa.

3.3.2. Montagem.

Antes da aplicação da cola e da prensagem, foi feita a montagem de cada viga, isto é, o posicionamento das lâminas na viga, o qual foi mantido durante a aplicação de cola e prensagem.

As finalidades desta montagem foram:

- posicionar o mais distante possível um encaixe dentado do outro, tanto no sentido horizontal como no vertical;
- não posicionar nas três camadas exteriores, na região mediana da viga, isto é, na região solicitada por maior tensão, encaixes dentados.

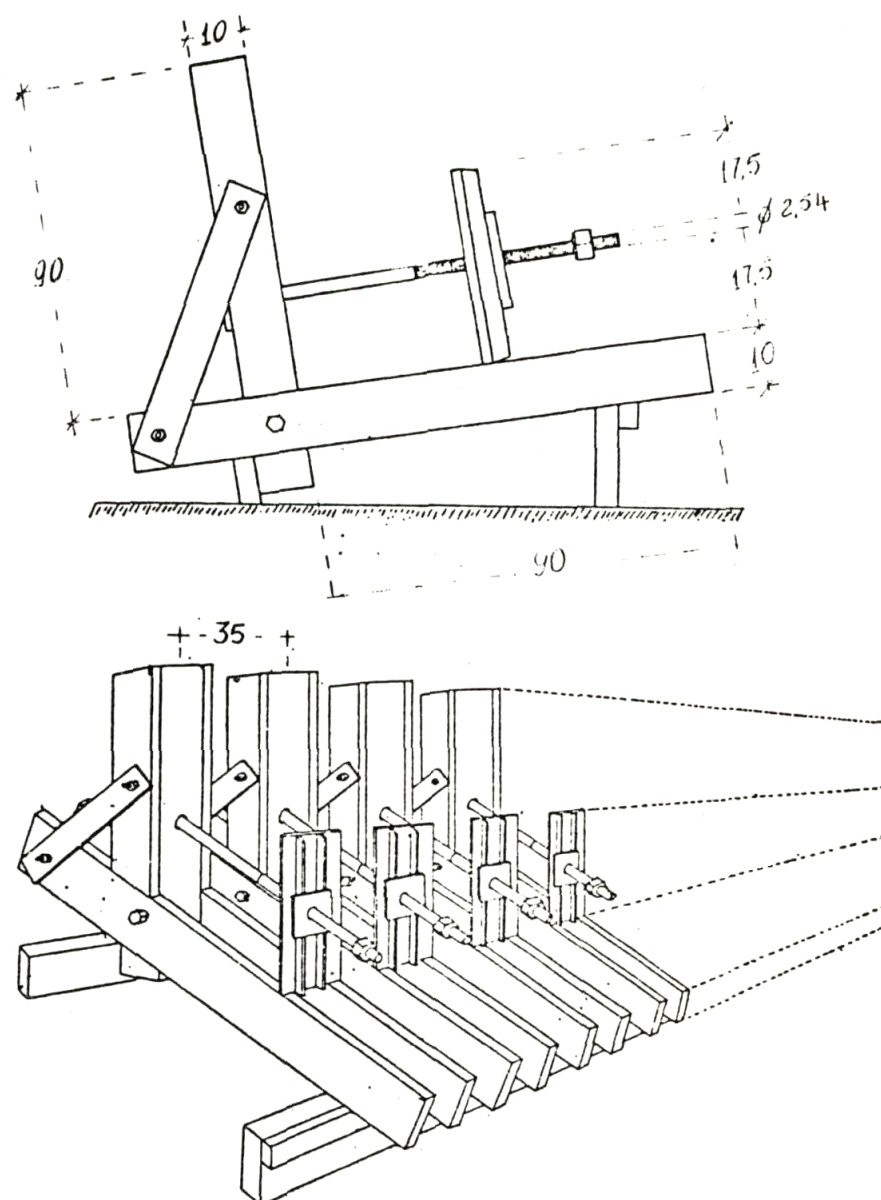


FIGURA 6 - Prensa desenvolvida para a confecção de vigas laminadas de madeira. (dimensões em cm).

3.3.3. Prensagem.

Estando as duas vigas colocadas na prensa, aplicou-se a pressão de 7 kg/cm^2 , começando o fechamento da prensa do centro para as extremidades. Após decorridos 30 minutos do término desta operação, procedeu-se na mesma ordem, um reaperto, devido a acomodação das tábuas sob pressão. Esta pressão foi aplicada às vigas, através dos parafusos, por intermédio de um torquímetro de catraca, previamente calibrado.

O tempo de permanência das vigas sob pressão, foi de 24 horas, a uma temperatura de 42°C , e umidade relativa em torno de 50%; decorrido este período, a prensa foi aberta na mesma ordem de fechamento, e as vigas permaneceram durante 30 dias em ambiente de 21°C e 65% de umidade relativa.

3.4. Testes.

As vigas foram testadas, no laboratório de Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, da Universidade Federal do Paraná, em uma máquina universal de ensaios, marca Tinus Olsen, com suportes especiais para testar vigas de 4 m de comprimento FIG. 7, conforme as normas e procedimentos da " American Society for Testing and Materials " (ASTM), D 198-67, (Static Tests of Timbers in Structural Sizes).

As vigas laminadas foram testadas em flexão estática, sob 381 cm de vão, com 127 cm entre os dois pontos de aplicação de carga. A deflexão foi tomada a cada 50 kg de incremento. A carga foi contínua até a ruptura, com uma velocidade de aplicação de 15 mm/min, sendo o tempo médio, isto é, do início da aplicação da carga até a ruptura, de 12 minutos; fazendo-se ainda observações individuais de cada ruptura.

Após a ruptura, foi determinado o conteúdo de umidade de cada viga, pelo método de pesagem, de amostras retiradas próxima a ruptura. Também foi determinado nesta secção retirada a porcentagem de lenho outonal e primavera.

Para os cálculos efetuados, foram utilizadas as fórmulas recomendadas pela mesma norma citada acima. Com os dados obtidos desta maneira, foi efetuado o cálculo da média para cada tratamento, e posteriormente uma análise da variância e teste de

Tukey entre os tratamentos, para cada uma das propriedades analisadas, ou sejam, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tensão de cisalhamento.

A avaliação dos resultados foram efetuados para os dados, com conteúdo de umidade por ocasião dos testes, umidade esta de equilíbrio atingida pelas vigas em ambiente de 21°C e 65% de umidade relativa, e para dados ajustados a 12% de umidade.

Segundo Skaar, a comparação de propriedades de materiais em equilíbrio com uma determinada condição ambiental é considerada como provavelmente a mais indicada, numa avaliação prática do efeito do tratamento no material, sendo portanto os resultados mais realistas (66). Paralelamente, os dados das propriedades mecânicas avaliadas foram ajustados a 12% de umidade, proporcionando assim uma comparação entre os dados ajustados a 12% de umidade e os dados não ajustados. Para o ajustamento dos dados foram utilizados fatores de correção, comumente citado na literatura, sendo 1,5% de alteração por 1% de umidade para o módulo de elasticidade; 4% de alteração por 1% de umidade, para o módulo de ruptura e tensão de cisalhamento (72).

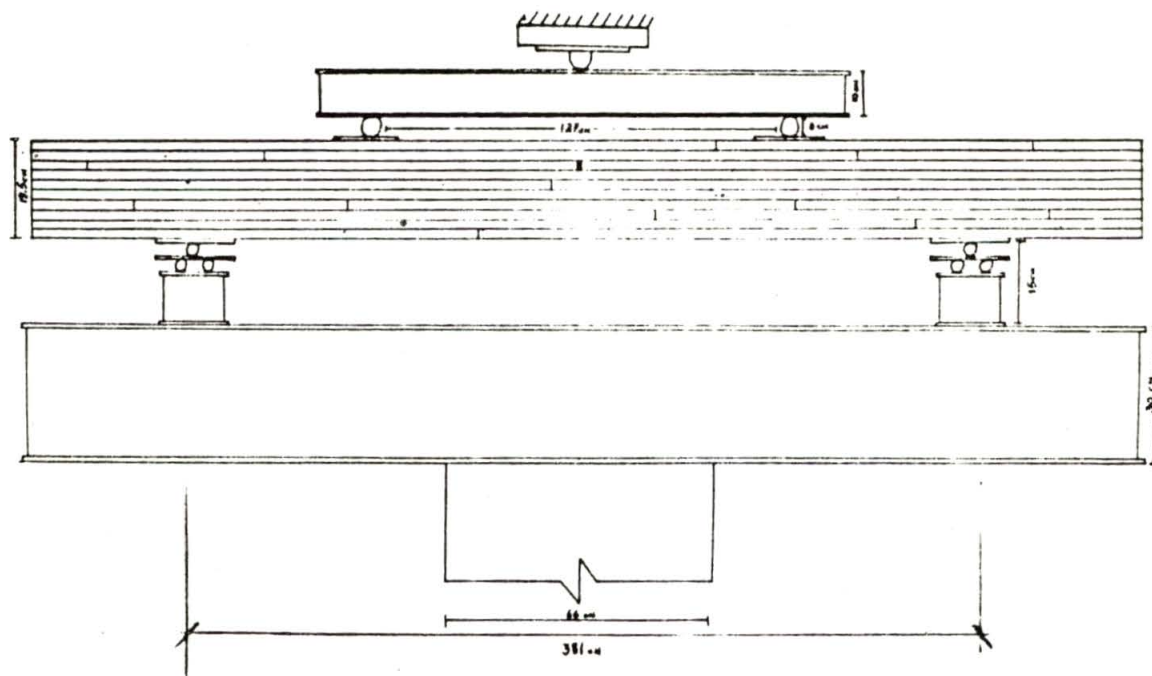


FIGURA 7 - Arranjo para testar as vigas de 4,0 m de comprimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

4.1. Beneficiamento da madeira.

4.1.1. Desdobro.

A operação de desdobro das toras em serraria do tipo convencional, não apresentou problemas sérios. Nesta operação, para facilitar o corte, pela serra fita, injetou-se água na lâmina de serra, para diminuir a aderência da resina à mesma. Contudo houve um acúmulo de resina no volante inferior, que provocou pequenas imperfeições no corte. O manuseio das tábuas, durante o desdobro, é em parte dificultada pela adesão da resina nas mãos dos operadores.

O desdobro de tora de pequeno diâmetro, como as utilizadas, provoca a eliminação de grande quantidade de madeira na forma de costaneiras. A madeira que constitui as costaneiras, é provavelmente de melhor qualidade mecânica por ser formada em idade mais avançada da árvore, e constituindo-se portanto em madeira adulta, ou em transição para adulta. Sabe-se que a madeira adulta possui melhores propriedades tecnológicas que a madeira formada nos primeiros anos de idade da árvore, dentro da copa viva, denominada de madeira juvenil.

A aparência das tábuas após o desdobro foram boas, mas devido a pouca idade das árvores, notou-se uma grande incidência de nós nas tábuas.

4.1.2. Secagem.

Uma parte das tábuas foram dispostas ordenadamente em uma pilha para a secagem ao ar livre. Contudo abandonou-se este método de secagem, pelo aparecimento de fungos manchadores e logo em seguida fungos apodrecedores.

Devido a este problema, todas as tábuas utilizadas na confecção de vigas laminadas, foram secas em estufa, imediatamente após a operação de desdobro. A secagem procedeu-se a 65°C de temperatura máxima, com 2,5 como gradiente de secagem, até em torno de 15% de umidade. Com estas condições de secagem notou-se empenamento da madeira, sendo ausentes outros defeitos, colapso, etc.

4.2. Propriedade das vigas.

4.2.1. Conteúdo de umidade.

Os valores individuais do conteúdo de umidade de cada viga, para cada tratamento encontram-se tabulados nos quadros 1, 2 e 3. Os valores médios, desvio padrão e variância no quadro 7 e a análise de variância e teste de Tukey, realizados para os tratamentos, no quadro 14. Na figura 8 encontra-se os valores do conteúdo de umidade de cada viga, para cada tratamento, em função da frequência de ocorrência.

No quadro 14, pela análise de variância e teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, conclui-se que há significância no conteúdo de umidade entre os três tratamentos. Porém, todas as vigas sofreram os mesmos cuidados antes da realização do teste de flexão, ou seja, permaneceram por um período de 30 dias em uma sala climatizada a 21°C e 65% de umidade relativa. As vigas de cada tratamento alcançaram um valor determinado de umidade de equilíbrio, evidenciado pelas médias de cada tipo de viga (quadro 7).

Outra evidência da influência no conteúdo de umidade, pelo processo de confecção de vigas, nota-se pela figura 8, onde observa-se uma dispersão maior dos dados para as vigas maciças do que para as vigas laminadas. Esta homogeneidade para as vigas laminadas, pode ser atribuída a facilidade de secagem das lâminas antes da composição da viga.

Apesar da análise de variância e teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, evidenciarem significância entre os tratamentos, para a análise comparativa dos resultados apurados, esta diferença provavelmente não altera os resultados, devido a pequena diferença entre os tratamentos, em torno de 1,5% de umidade. A significância determinada, pela análise de variância, é devida a homogeneidade dos dados em cada tratamento.

Contudo os valores do conteúdo de umidade, entre os tratamentos, podem ser minimizados, deixando-se mais tempo as vigas em ambiente climatizado. A existência da linha de cola entre as lâminas é um fator de desaceleração da perda de umidade, pelo fato da linha de cola impermeabilizar duas faces de cada lâmina interna, deixando livre apenas a face da espessura da lâmina.

Pode-se concluir, no entanto, que vigas para uso externo, em condições ambientais normais, é perfeitamente aceitável esta umidade de equilíbrio atingida.

4.2.2. Peso específico básico aparente.

Os valores individuais do peso específico básico aparente de cada viga, para cada tratamento, encontram-se nos quadros 1, 2 e 3. Os valores médios, desvio padrão e variância no quadro 8 e a análise de variância e teste de Tukey, realizados para os tratamentos, no quadro 15. Na figura 9, foi tabulado cada valor do peso específico, para cada tratamento, em função da frequência de ocorrência.

No quadro 15, pela análise da variância e teste de Tukey, concluiu-se que ao nível de 95% de probabilidade, há significância entre o tratamento VPF e os demais, e ainda, observou-se a não significância entre os tratamentos VPM e VPG, sendo estes de menor peso específico básico aparente, do que o tratamento VPF, (quadro 8). Pela figura 9, observou-se praticamente a mesma dispersão dos dados para os três tipos de viga.

O peso específico é altamente correlacionado com as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Contudo o objetivo do presente trabalho não é de analisar esta propriedade em função comparativa com outras madeiras, mas apenas o de justificar os acontecimentos ocorridos entre os tratamentos:

O peso específico de $0,365 \text{ g/cm}^3$ para as vigas tipo VPF, é justificável comparando-se com as demais, pelo maior número de linhas de cola; pela ocorrência de maior porcentagem de lenho outonal nas lâminas, em torno de 10% e, pela menor espessura dos anéis de crescimento nas lâminas deste tipo de viga. Este último fato é considerado significativo para o aumento do peso específico em coníferas (72).

Outro fato que deve ser levado em consideração, é a quantidade de madeira juvenil presente nas vigas do tipo VPM e VPG; nas vigas tipo VPF esta quantidade é menor do que para as anteriores, fato evidenciado pela espessura dos anéis de crescimento.

Apesar das considerações para explicar a variação

do peso específico, deve-se enfatizar que tal diferença, apesar de significativa, ao nível analisado, é de pequena grandeza, e, provavelmente, provoca pouca ou nenhuma influência nos resultados obtidos.

4.2.3. Módulo de elasticidade.

Os valores individuais do módulo de elasticidade de cada viga, para cada tratamento, encontram-se tabulados nos quadros 1, 2 e 3, para os valores com conteúdo de umidade, por ocasião da realização do teste de flexão; nos quadros 4, 5 e 6, os mesmos valores, mas corrigidos à 12% de umidade. Os valores médios, desvio padrão e variância, para os valores ajustados e não ajustados, no quadro 9.

A análise de variância de teste de Tukey, para os valores não ajustados e ajustados à 12% de umidade, encontram-se, respectivamente, nos quadros 16 e 17. Nas figuras 10 e 11, respectivamente, foram colocados os valores do módulo de elasticidade, não ajustados e ajustados à 12% de umidade, em função da frequência de ocorrência.

O resultado da análise estatística, realizada para os dados não ajustados e ajustados a 12% de umidade, entre os três tratamentos (VPM, VPF e VPG), demonstraram evidências idênticas, ao nível analisado. Este acontecimento vem confirmar a premissa de que a diferença do conteúdo de umidade entre os tratamentos por ocasião da realização do teste, não prejudicou os resultados, por ser esta diferença considerada pequena.

O maior valor médio do módulo de elasticidade encontrado foi para as vigas laminadas, tipo VPF 57.100 kg/cm^2 , sem ajustamento e 60.011 kg/cm^2 à 12% de umidade; (quadro 9). Este resultado é evidenciado como significativo ao nível de 95% de probabilidade pela análise de variância e pelo teste de Tukey, evidenciado como diferente dos valores encontrados para as vigas tipo VPM e VPG (quadros 16 e 17). Sendo que, para as vigas tipo VPM e VPG, o teste de Tukey não evidenciou diferença, sendo portanto considerados semelhantes, ao nível analisado (quadros 16 e 17).

Para a discussão dos resultados encontrados para os valores do módulo de elasticidade, deve ser levado em conside

ração, que este valor é determinado a partir da carga no limite proporcional e da deflexão da viga neste ponto. Estas duas determinações são passíveis de pequenos erros, pois o exato ponto onde o material começa a sofrer deformações plásticas, é de difícil determinação para o caso de vigas em tamanho estrutural. Levando-se em consideração este aspecto, a deflexão também é passível de erro de determinação. Portanto esta propriedade, para o caso da madeira, que é um material orgânico e anisotrópico, além de sofrer influência de vários fatores, é considerado de difícil determinação.

A análise dos valores da carga no limite proporcional, para os três tipos de viga (quadro 13), mostra que este valor para as vigas tipo VPF (1.080 kg) foi maior do que para as vigas tipo VPM e VPG. Pela análise da variância, ao nível de 95% de probabilidade e pelo teste de Tukey (quadro 17), evidenciou-se esta diferença dos demais como significativa. Estes resultados do valor da carga máxima, influenciou diretamente no valor do módulo de elasticidade.

A diferença no valor do módulo de elasticidade das vigas VPF, não era totalmente esperado, mas pode-se, provavelmente atribuir ao maior peso específico da viga e ao maior número de linhas de cola, pois estes fatores são responsáveis, em parte, pela rigidez da viga (72; 50).

Outro aspecto que deve ser tomado como influente no módulo de elasticidade, é a ocorrência de maior porcentagem de lenho outonal nas vigas VPF, do que nas vigas tipo VPM e VPG; em torno de 10% a mais. Esta maior porcentagem de lenho outonal, é devida a inclusão de parte de madeira adulta nas lâminas que compuseram este tipo de viga, pelo maior número de anéis de crescimento (FIG. 18; 19; 20).

Conclui-se que, provavelmente, sejam estas as causas que possam justificar a diferença para mais do módulo de elasticidade, encontrado para as vigas tipo VPF.

Os valores do módulo de elasticidade determinados para as vigas, contudo é considerado abaixo dos recomendados nas especificações internacionais para fins construtivos. Se tomarmos como média o valor máximo, em torno de 60.000 kg/cm^2 , este valor é

apenas a metade do valor alcançado por vigas laminadas de madeira de Araucária augustifolia (81), esta razão é também válida, quando comparado com valores médios alcançados por vigas laminadas confeccionadas e testadas pelo "Forest Products Laboratory", Madison, Wis. (11; 33; 45) .

4.2.4. Módulo de ruptura.

Os valores individuais do módulo de ruptura de cada viga, para cada tratamento, encontram-se tabulados nos quadros 1, 2 e 3, para os valores com conteúdo de umidade por ocasião da realização do teste de flexão; nos quadros 4, 5 e 6, os mesmos valores, mas corrigidos a 12% de umidade. Os valores médios, desvio padrão e variância, para os valores ajustados e não ajustados no quadro 10.

A análise de variância e teste de Tukey, para os valores ajustados e não ajustados à 12% de umidade, encontram-se respectivamente, nos quadros 18 e 19. Nas figuras 12 e 13, respectivamente, foram colocados os valores do módulo de ruptura, não ajustados e ajustados à 12% de umidade, em função da frequência de ocorrência.

O resultado da análise estatística para os dados não ajustados e ajustados à 12% de umidade, entre os três tratamentos (VPM, VPF, e VPG), demonstraram evidências idênticas, ao nível analisado, fato esse que também foi observado para os valores do módulo de elasticidade, portanto vindo mais uma vez confirmar o que foi suposto anteriormente, quanto ao conteúdo de umidade.

O maior valor médio do módulo de ruptura encontrado foi para vigas laminadas, tipo VPF: 287,66 kg/cm², sem ajustamento e 310,90 kg/cm² à 12% de umidade (quadro 10). Este resultado é evidenciado como significativo ao nível de 95% de probabilidade, pela análise de variância; pelo teste de Tukey evidenciado como diferente dos valores encontrados para as vigas tipo VPM e VPG, (quadros 18 e 19). Para as vigas tipo VPM e VPG, o teste de Tukey não evidenciou diferença, sendo portanto considerados semelhantes ao nível analisado (quadros 18 e 19).

O módulo de ruptura, ao contrário do módulo de elasticidade, possibilita exatidão na sua determinação porque é dependente da carga máxima, a qual é de fácil observação.

A análise dos valores da carga máxima, para os três tipos de vigas (quadro 12), mostra que este valor para as vigas tipo VPF (2.055 kg) foi maior do que para as vigas tipo VPM e VPG. Pela análise de variância, ao nível de 95% de probabilidade e pelo teste de Tukey (quadro 22), evidenciou-se esta diferença dos demais como significativa, sendo que, para as vigas tipo VPM e VPG, ao mesmo nível, não evidenciou-se significância, portanto são consideradas semelhantes.

O valor da carga máxima e, conseqüentemente, o módulo de ruptura, são altamente influenciados por vários fatores inerentes a madeira e fatores externos. Dentre os fatores externos, os encaixes dentados influem significativamente quando são a causa da ruptura. Tal fato seguramente não afetou os resultados encontrados para os valores do módulo de ruptura porque, pode-se dizer que todas as rupturas ocorridas nas vigas laminadas testadas, não foram causadas pela qualidade destes encaixes. Em todas as vigas testadas, apenas à três delas foi atribuída a ruptura ao encaixe dentado. Contudo o valor da carga máxima para estas encontram-se na média e até acima da média determinada. O excelente desempenho dos encaixes dentados é, provavelmente, função da boa qualidade de confecção destes encaixes e da distribuição espacial dentro da viga, uma vez que era esperada uma maior porcentagem de ruptura devido a estes encaixes, porque possuíam apenas 20 mm de comprimento, e são por, outro lado, considerados de média eficiência, comparados com os encaixes em cunha, e de baixa resistência comparados com madeira maciça (51).

Outro fator externo correlacionado com o módulo de ruptura é o fator de forma, que é dependente da relação altura e comprimento da viga. Na análise dos resultados do módulo de ruptura, para os três tipos de vigas, este fator não influenciou de nenhuma maneira, além da altura das vigas testadas não atingirem a dimensão crítica de influência (30,5 cm); todas possuíam idênticas dimensões. Sendo o procedimento de teste também idêntico,

para os três casos, pode-se concluir que, provavelmente, tais fatores externos não tiveram influência nos resultados obtidos, restando, portanto, apenas os fatores inerentes a madeira para justificar os resultados determinados.

Antes de justificar a variação do módulo de ruptura ocorrido nos três tipos de vigas, é necessário observar o tipo de ruptura ocorrido nas vigas. Em todas as vigas testadas, a ruptura ocorreu próxima ao limite proporcional, sem grande variação na proporção da deflexão. Conclui-se que a ruptura nos estágios iniciais da plastificação das fibras, forma esta peculiar de ruptura de material de baixa resistência mecânica, considerado como quebradiço (28; 30). Este fato evidencia as qualidades atribuídas à madeira juvenil, que é considerada de baixa resistência mecânica, por ser constituída de fibras mais curtas, paredes celulares mais espessas e, esta parede celular, na camada S2, possuir inclinação fibrilar mais acentuada, do que a madeira formada em idade mais avançada da árvore, fora da copa viva (83). A inclinação fibrilar é responsável para ruptura brusca da madeira. Com estas evidências chega-se a evidência que o material constituinte das vigas é em sua maioria madeira juvenil. Outro fato a assegurar esta afirmativa, é a comparação destes resultados com os resultados obtidos de vigas laminadas de *Pinus sp.*, confeccionadas e testadas pelo "Forest Products Laboratory", Madison, Wis., são em média 40% mais elevados.

Dentre os fatores inerentes à madeira, que influem no módulo de ruptura e podem justificar os resultados encontrados, para os três tratamentos, cita-se dois principais:

- diferentes qualidades das lâminas, principalmente as externas, no caso das vigas laminadas, e a forma de desdobro para as vigas maciças;
- espessura das lâminas para as vigas laminadas, como fator dispersante de caracteres redutores de resistência, atuando de forma contrária ao fator de forma.

As lâminas que constituíram as vigas VPF, as quais evidenciaram o maior módulo de ruptura, possuíam em torno de 10%

a mais de lenho outonal do que as vigas VPM e VPG. Esta porcentagem, aliada ao maior número de anéis de crescimento por lâmina, é provavelmente responsável por parte da diferença determinada. Pela observação da secção transversal de cada tipo de viga, nota-se que há diferenças visuais quanto a qualidade da madeira localizada na parte externa da viga, para cada tratamento. Nas vigas maciças nota-se, que pela forma de desdobro, há pouca ou quase nada de madeira adulta, por outro lado, sendo estas vigas maciças, não é possível a eliminação dos defeitos, como nós, grã revêssa etc., esperando-se portanto destas vigas, o menor valor do módulo de ruptura. Contudo este fato não ocorreu. O menor valor observado foi para as vigas do tipo VPG. A razão possível deste fato também está na qualidade da madeira localizada na parte externa da viga, pois nas vigas maciças há um início de madeira adulta e anéis mais estreitos na região externa, enquanto que para a viga do tipo VPG, as lâminas externas continham grande porcentagem de madeira juvenil e anéis largos, fatores considerados como redutores de resistência (45). As vigas do tipo VPF, eram constituídas de lâminas mais finas (13 mm) e com anéis de crescimento mais estreitos, principalmente na parte externa. Destes fatos comparativos espera-se, um valor mais alto do módulo de ruptura, de que os demais tratamentos (45).

Os fatores inerentes à madeira, como nós, grã revêssa etc., influem significativamente no valor do módulo de ruptura. Porém uma das vantagens da viga laminada, sob uma viga maciça é a dispersão destes defeitos dentro da viga, bem como, a limitação destes à espessura das lâminas que constituem a viga. O efeito da dispersão dos defeitos numa viga laminada, tem sido demonstrado como um efeito benéfico sob a resistência da viga (82). Considerando a validade desta premissa, é talvez a principal causa do maior valor do módulo de ruptura determinado para as vigas tipo VPF, em relação as vigas tipo VPG; pode-se estender esta razão até para comparação com as vigas de madeira maciça.

Levando-se em consideração o efeito da dispersão dos defeitos sob a resistência da viga, conclui-se que, quanto mais baixa a qualidade da madeira empregada, e quanto mais fina

a espessura das lâminas, maior é a razão de incremento na resistência da viga. Na figura 21, tem-se plotado a relação do efeito da dispersão, em porcentagem de resistência, em função da espessura e do número de lâminas, para duas qualidades de madeira.(83).

Na mesma figura, tem-se a relação do efeito do fator de forma, em porcentagem de resistência, em função do número de lâminas e de espessura das mesmas. Portanto para um aumento de altura da viga tem-se uma redução no módulo de ruptura.(83).

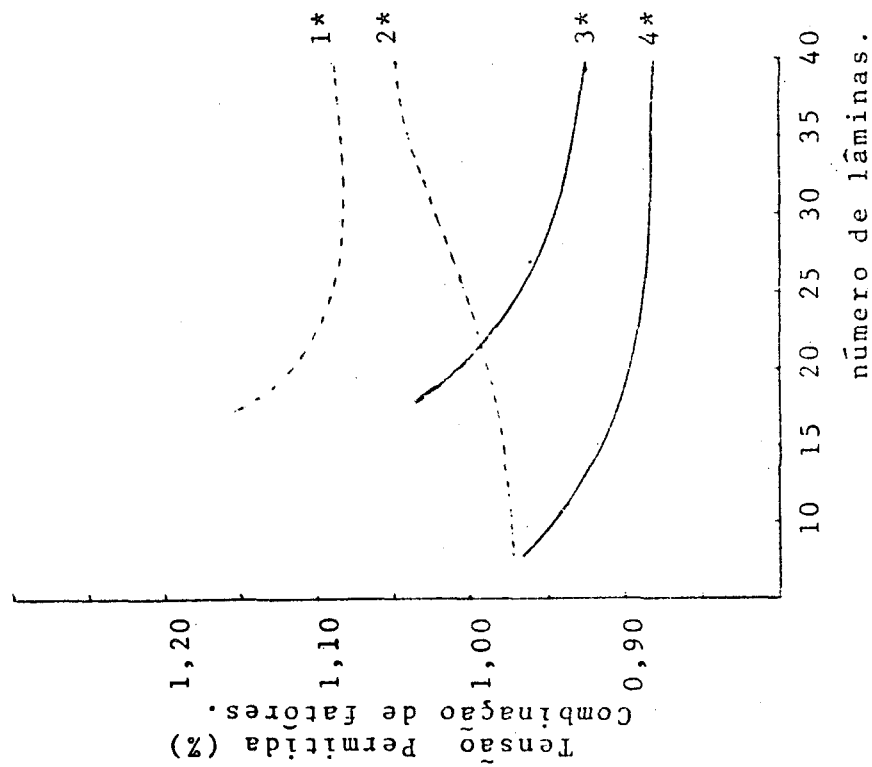
A combinação do efeito da dispersão e do fator de forma (FIG. 22) é uma provável justificativa do ocorrido com as vigas testadas. Já que todas as vigas tinham as mesmas dimensões, a diferença do módulo de ruptura para as vigas tipo VPF e VPG, é atribuída também ao efeito benéfico da dispersão dos defeitos sob a resistência da viga.

Estes fatos, provavelmente, justificam o comportamento das vigas laminadas quanto ao valor da carga máxima suportada e, conseqüentemente, quanto aos valores do módulo de ruptura.

4.2.5. Tensão de cisalhamento

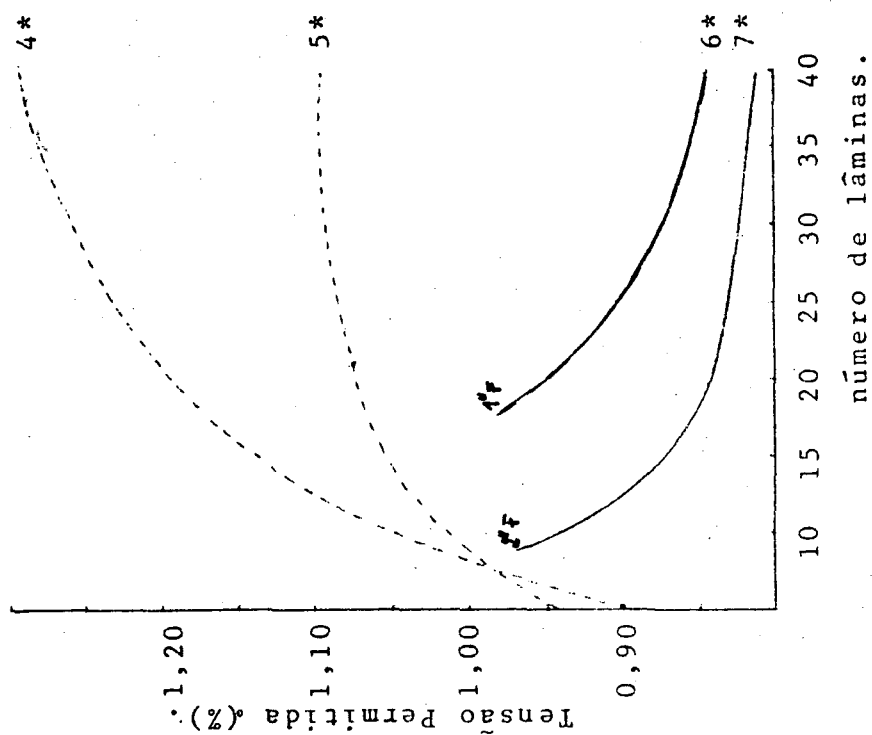
Os valores individuais da tensão do cisalhamento, e cada viga, para cada tratamento, encontram-se tabulados nos quadros 1, 2 e 3, com umidade por ocasião da realização do teste, e nos quadros 4, 5 e 6 os dados ajustados a 12% de umidade. Os valores médios, desvio padrão e variância, para dados não ajustados e ajustados à 12% de umidade no quadro 11. A análise de variância e teste de Tukey, para os dados não ajustados e ajustados à 12% de umidade, encontram-se respectivamente nos quadros 20 e 21. Nas figuras 14 e 15, respectivamente encontram-se os dados não ajustados e ajustados à 12% de umidade, dos valores individuais de cada viga, para cada tratamento, em função da frequência de ocorrência.

A análise deste resultado é idêntica aos determinados para o módulo de ruptura. Este acontecimento é esperado em função da relação entre as duas formulas empregadas, vindo a confirmar os resultados obtidos.



- 1* Qual. 3, lâminas de 1".
- 2* Qual. 3, lâminas de 2".
- 3* Qual. 2, lâminas de 1".
- 4* Qual. 2, lâminas de 2".

FIGURA 22 - Combinação de fatores de Dispersão e Forma. Seg. Bordin.



- 4* Qual. 3, fator de dispersão.
- 5* Qual. 2, fator de dispersão.
- 6* Fator de forma, lâm. de 1".
- 7* Fator de forma, lâm. de 2".

FIGURA 21 - Fator de forma e Fator de dispersão. Seg. Bordin.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

5.1. Madeira.

Pelo comportamento geral das vigas no teste de flexão e por suas propriedades, conclui-se que a madeira é de baixa qualidade quanto a resistência. Fato evidenciado por sua natureza juvenil, ou seja, baixo peso específico e anéis de crescimento relativamente largos. O peso específico desta madeira, de 0,335 a 0,37 g/cm³, é considerado baixo para fins estruturais, devido sua correlação direta com as propriedades físico mecânica da madeira.

Outro fator preponderante, que influi diretamente na qualidade da madeira, é a largura dos anéis de crescimento. Tratando-se da madeira utilizada, com anéis de até 1,9 cm de largura, conclui-se, mais uma vez sobre os resultados determinados.

Para enfatizar mais este aspecto, a forma da ruptura das vigas foi típica de madeira de baixa resistência.

A confecção de vigas laminadas compostas de lâminas de pequena espessura é uma alternativa que se mostra promissora, para compensar alguns inconvenientes evidenciados pela madeira de Pinus elliottii. Este procedimento, além de compensar alguns defeitos inerentes a madeira, possibilita a obtenção de vigas de grandes dimensões, bem como um incremento no peso específico e módulo de ruptura. Contudo é necessário pesquisa visando somente a determinação desta premissa.

5.2. Vigas.

As vigas laminadas de madeira de Pinus elliottii, testadas em flexão, não evidenciaram a ruptura inicial causada pelos encaixes dentados. Somente a três vigas foi atribuída a ruptura aos encaixes dentados, mas provavelmente não foram afetados os resultados finais. O excelente desempenho destes encaixes é devido à boa qualidade da confecção dos mesmos e à distribuição espacial dos mesmos dentro da viga laminada. A eficiência destes encaixes, de apenas 20 mm de comprimento, é muito promissora para a utilização em vigas laminadas. Já há especificações que adotam

esta dimensão, mas sendo ainda carente de mais informações de seu comportamento com outras espécies, requer certos cuidados na sua utilização e mais informações de comportamento.

A ruptura das vigas também não se desenvolveu pela abertura da linha de cola, evidenciando desta maneira a boa qualidade da adesão entre as lâminas, apesar destas serem cortadas em sentido radial. A resistência da linha de cola entre as lâminas cortadas em sentido radial é menor do que entre lâminas cortadas em sentido tangencial(15). No entanto observou-se que a linha de cola entre as lâminas foi muito resistente. Atribui-se este bom desempenho da linha de cola à baixa resistência mecânica da madeira utilizada.

Os valores do módulo de elasticidade, tanto para as vigas laminadas como para a maciça, alcançaram somente 50% dos valores comumente citados na literatura.

O módulo de ruptura alcançou \pm 60% dos valores comumente citados na literatura. Contudo, pelo processo de confecção de vigas laminadas, esta propriedade pode-ser incrementada significativamente em relação a madeira maciça. O fator que provavelmente contribui em maior escala para este incremento, é a dispersão dos defeitos em função da espessura das lâminas, que compõem a viga.

Com os resultados obtidos, e baseando-se na pesquisa bibliográfica do comportamento de vigas com textura grossa, sugere-se utilizar a madeira de Pinus elliottii nas regiões de baixa tensão, ou seja na parte interna, de vigas laminadas.

Das dificuldades e resultados encontrados, a partir deste trabalho, e da necessidade premente de utilização desta madeira, sugere-se algumas recomendações como linhas prioritárias de enfoque, dentro do campo da tecnologia de produtos florestais:

- desenvolvimento e conscientização dos consumidores de madeiras para fins estruturais, dos benefícios e facilidades proporcionados pela classificação prévia da madeira, por critérios visuais e/ou quanto ao módulo de elasticidade determinado através de processo não destrutivo;

Esta prática é embasada em conceitos tecnológicos, já devidamente apreciados e comprovados por várias instituições de pesquisas de diversos países. Para a classificação, quanto ao módulo de elasticidade, utiliza-se um sistema contínuo, medindo-se a deflexão de peças de madeira sob carga constante,

- elaboração de especificações técnicas, para vigas laminadas de madeira. Para estas especificações técnicas, devem ser levados em consideração todos os fatores que afetam as propriedades mecânicas das vigas, partindo-se da qualidade tecnológica da madeira, do adesivo e ainda da classificação de madeira pelo método visual e/ou quanto ao módulo de elasticidade. Deve-se, no entanto, utilizar-se das experiências dos institutos de pesquisas internacionais, procedendo-se a uma triagem e adaptação dos resultados para as madeiras nacionais,
- baseando-se nos resultados obtidos para as vigas laminadas de Pinus elliottii, sugere-se um estudo do comportamento de vigas laminadas, com esta espécie associada a outra espécie de peso específico maior, como a bracaatinga (Mimosa scabrella) ou Eucaliptus sp.

6. RESUMO

O presente trabalho intenta dar subsídios sobre o comportamento à flexão de vigas laminadas de madeira de Pinus elliottii Engelm, proveniente de desbastes de povoamentos artificiais com 12 anos de idade.

Foram confeccionadas, 15 vigas laminadas, sendo cada uma composta de 15 lâminas de 13 mm de espessura; 10 vigas laminadas, sendo cada uma composta de 8 lâminas de 24,3 mm; tendo portanto, todas as vigas confeccionadas as seguintes dimensões: 19,5 cm de altura, 7,2 cm de largura e 400 cm de comprimento.

Os resultados do teste de flexão, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tensão de cisalhamento, determinados de acordo com a normas ASTM D 198-67, foram comparados entre estes dois tipos de vigas e com os resultados de vigas maciças de Pinus elliottii, de mesmas dimensões e de madeira com a mesma idade.

Foi determinado o peso específico aparente básico para as vigas laminadas e vigas maciças. Todos os resultados foram reportados com umidade por ocasião da realização do teste e ajustados à 12% de umidade.

O valor do módulo de elasticidade e de ruptura, atingiram respectivamente, 50% e 60%, em média, dos valores recomendados pelas especificações internacionais.

Recomenda a utilização desta madeira na parte interna de vigas, associadas à espécie de madeira com maior peso específico, para compensar sua baixa qualidade.

7. ZUSAMMENFASSUNG.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Hinweise auf das Biegeverhalten von Leimbindern, ^{in gelbem} die aus Holz von Pinus elliottii hergestellt sind, das aus der Durchforstung 12 jähriger Pflanzbestände stammt.

Es wurde 15 Leimbinder hergestellt mit jeweils 15 Schichten von 13 mm Stärke; 10 Leimbinder wurde aus 8 Schichten von 24,3 mm Stärke hergestellt. Alle Leimbinder hatten somit folgende Dimensionen: 19,5 cm Höhe, 7,2 cm Breite und 400 cm Länge.

Die Ergebnisse des Biegetest, Elastizitätsmoduls, Bruchmoduls und Scherspannung, bestimmt entsprechend Normen ASTM D 198-67, wurden verglichen zwischen diesen beiden Arten von Leimbindern und mit Massivbalken von Pinus elliottii gleicher Dimension und aus Holz gleichen Alters.

Für Leimbinder und Massivbalken wurde das spezifische Gewicht 0%, bezogen auf Grünvolumen, bestimmt. Sämtliche Ergebnisse wurden dargestellt für die jeweilige Feuchtigkeit zum Zeitpunkt der Tests und umgerechnet auf 12% Feuchtigkeit.

Elastizitätsmodul und Bruchmodul erreichten im Durchschnitt 50 bzw 60% der international empfohlenen Werte. Es wird empfohlen, dieses Holz im Innenteil der Leimbinder zu verwenden, in Verbindung mit Holz höheren spezifischen Gewichts um seine geringe Qualität auszugleichen.

6. LITERATURAS CONSULTADAS.

1. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION, Englewood, Colorado. Timber construction standards. 5. ed. New York, 1969.
2. AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION. Plywood design specifications. Washington, 1966.
3. BEDEL, J. & GAUTIER, R. Charpentes lamellées collées en bois tropicaux. Bois et Forêts des Tropiques, n. 141: 51-71, 1972.
4. BERGIN, E.G. The strength and durability of thick gluelines. Publication. Canadian Forestry Service, n. 1260, 1969. 24p.
- *5. BIKERMAN, J.J. The science of adhesive joints. In: CHUGG, W.A. Glulam- the theory and practice of the manufacture of glued laminated timbers structures. London, Ernest Benn, 1964. 423p.
6. BIBLIS, E.J. Shear deflection of two species laminated wood beams. Wood Science and Technology, 1: 231-238, 1967.
7. BOHANNAN, B. Prestressed laminated wood beams. USFS. Research Paper FPL-8, 1964. 32p.
8. BOHANNAN, B. Exploratory development of tension method for structural-size lumber. USFS. Research Paper FPL-40, 1965. 12p.
- *9. BOHANNAN, B. Effect of size on bending strength of wood members. USFS. Research Paper FPL-56, 1966. 30p.
10. BOHANNAN, B. Fatigue strength of finger joints. USFS. Research Paper FPL-114, 1969. 8p.
11. BOHANNAN, B. Flexural behavior of large glued-laminated beams. USFS. Research Paper FPL-72, 1966. 16p.
- *12. BOHANNAN, B. Large glued-laminated timber beams with two grades of tension laminations. USFS. Research Paper FPL-113, 1969. 44p.
13. BOLLER, K.H. A horizontal machine for testing structural wood elements in tension. USFS. Research Note FPL-0150, 1967. 17p.

14. BOHLEN, J.C. Shear strength of douglas-fir lumber laminated at higt temperatures. Information Report VP-X-89, Vancouver, 1971. 34p.
- *15. CHUGG, W.A. Glulam - the theory and practice of the manufacture of glued laminated timbers structures. London, Ernest Benn, 1964. 423 p.
16. CURRY, W.T. Grade stresses for structural laminated timber. Special report. Forest Products Research, London, n. 15 (2. ed.), 1967. 29p.
17. CURRY, W.T. Grade stresses for structural laminated timber. Bulletin. Forest Products Research, London. n. 35 (metric units), 1970. 31p.
18. DOMAN, L.S. & KNIGHT, R.A.C. Investigations into glues and gluing. Progress report 143 - April 1966. The effect of moisture content and manufacture and test on bond-quality in laminated beams made with a resorcinol resin. London, Forest Products Research Laboratory, 1966. 8p.
19. DOYLE, D.V. & MARKWARDT, L.J. Properties of southern pine in relation to strength grading of dimension lumber. USFS. Research Paper FPL-64, 1966. 62p.
20. DOYLE, D.V. & MARKWARDT, L.J. Tension parallel-to-grain properties of southern pine dimension lumber. USFS. Research Paper FPL-84, 1967. 36p.
21. FOX, S.P. Minimum-depth design of double-tapered pitched glued-laminated beams. Information Report VP-X-73, Vancouver, 1970. 53p.
22. FOX, S.P. Shear reinforcements for glued-laminated beams. Information Report VP-X-102, Vancouver, 1972. 18p.
23. FOX, S.P. & BOHLEN, J.C. Strength of two hot-press glued-laminated douglas-fir samples. Information Report VP-X-105, Vancouver, 1973. 17p.

- *24. FREAS, A.D. & SELBO, M.L. Fabrication and design of glued laminated wood structural members. Tech. B. U.S.D.A., 1069, 1954.
- 25. GERHARDS, C.C. Effect of type of testing equipment and specimen size on toughness of wood. USFS. Research Paper FPL-97, 1968. 12p.
- *26. GERHARDS, C.C. Relationship of tensile strength of southern pine dimension lumber to inherent characteristics. USFS. Research Paper FPL-174, 1972. 32p.
- 27. GILLESPIE, R.H. & LEWIS, W.C. Evaluating adhesives for building construction. USFS. Research Paper FPL-172, 1972. 12p.
- *28. GURFINKEL, G. Wood engineering. New Orleans, Southern Forest Products Association, 1973. 537p.
- 29. HANN, R.A. et alii. Moisture content of laminated timbers. USFS. Research Paper FPL-149, 1970. 5p.
- 30. HOWARD, J.H. 'Timber Engineers' Handbook. New York, John Wiley & Son, Inc. 1948. 882p.
- 31. HUGGINS, M.W.; PALMER, J.H.L. & APLIN, E.N. Evaluation of the effect of demanation. Separata de Engineering Journal, Montreal, February, 1966. 12p.
- 32. YSYUMOV, N. Is minimum scarf joint spacing needed in glulam? Contribution. Forest Products Research Branch, Canada, p-25, 1963. 8p.
- 33. JOHNSON, J.W. Design and tests of large glued-laminated beams of nondestructively tested lumber. Corvallis, Oregon State University. Forest Research Laboratory, 1971. 36p. (Report T-27. Paper 796)
- 34. JOKERST, R.W. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: residual heat of drying accelerates adhesive cure. USFS. Research Paper FPL-179, 1972. 10p.

35. KOCH; P. Strength of beams with laminated located according to stiffness. For. Prod. J., 14(10): 456-460.
36. KUENZI, E.W. & WILKINSON, T.L. Composite beams-effect of adhesive or fastener rigidity. USFS. Research Paper FPL - 152, 1971. 22p.
37. LITTLEFORD, T.W. Knot frequency study of laminating grades for western hemlock. Publication. Department of Forestry, Canada, n. 1009, 1963. 11p.
38. LITTLEFORD, T.W. Performance of glued-laminated beams under prolonged loading. Information Report VP-X-15, Vancouver, 1966. 21f.
39. MAKI, A.C. & KUENZI, E.W. Deflection and stresses of tapered wood beams. USFS. Research Paper FPL-34, 1965. 54p.
40. MCGOWAN, W.M. Tensile and flexural properties of a douglas-fir lumber/veneer composites. Information Report VP-X-108, Vancouver, 1973. 19p.
41. McCUTCHEON, W.J. & TUOMI, R.L. Simplified design procedure for glued-laminated bridge decks. USFS. Research Paper FPL-233. 1974. 8p.
42. MOODY, R.C. Tensile strength of finger joints in pith - associated and non-pith-associated southern pine 2 by 6's. USFS. Research Paper FPL-138, 1970. 20p.
43. MOODY, R.C. Tensile strength of lumber laminated from 1/8-inch-thick veneers. USFS. Research Paper FPL-181, 1972. 28 p.
44. MOODY, R.C. Design criteria for large structural glued - laminated timber beams using mixed species of visually grade lumber. USFS. Research Paper FPL-236, 1974. 34p.
45. MOODY, R.C. Flexural strength of glued-laminated timber beams containing coarse-grain southern pine lumber USFS. Research Paper FPL-222, 1974. 40p.

- x46. MOODY, R.C. & BOHANNAN, B. Flexural properties of glued-laminated southern pine beams with laminations positioned by visual-stiffness criteria. USFS. Research Paper FPL-127, 1970. 20p.
- 47. MOODY, R.C. & BOHANNAN, B. Flexural properties of glued-laminated southern pine beams with laminations positioned by visual-stiffness criteria. USFS. Research Paper FPL-127, 1970. 20p.
- 48. MOODY, R.C. & BOHANNAN, B. Large glued-laminated beams with AITC 301A-69 grade tension laminations. USFS. Research Paper FPL-146, 1970. 44p.
- x49. MOODY, R.C. & BOHANNAN, B. Flexural properties of glued-laminated southern pine beams-finger joints and specific gravity effects. USFS. Research Paper FPL-151, 1971, 36p.
- 50. MOODY, R.C. & PETER, C.C. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: strength properties of rotary knife-cut laminated southern pine. USFS. Research Paper FPL-178. 1972. 12p.
- x51. MÜLLER, P.H. Working stresses for finger joints in structural pine timber. Africa do Sul, (Trabalho não publicado).
- 52. NATIONAL FOREST PRODUCTS ASSOCIATION. National design specification for stress-grade lumber and its fastenings. Washington, 1971.
- 53. NEWLIN, J.A. & TRAYER, G.W. Form factors of beams subjected to transverse loading only. National Advisory Committee for Aeronautics Report n° 181, 1924.
- 54. NISKANEN, E. & MAKELAINEN, R. Estructuras de madera laminada; studio preliminar. Informe tecnico. Instituto Forestal, Chile, n. 18, 1965. 65p.
- x55. NOACK, D. & ROTH, W. Composite constructions. In: SYMPOSIUM ON WOOD AS A COMPETITIVE AND VERSATILE MATERIAL, Geneve, 10-14, January, 1972. 13p.

56. NOACK, D. & ROTH, W. Factors influencing the use of laminated timber in constructions with particular reference to long span. In: SYMPOSIUM ON WOOD AS COMPETITIVE AND VERSATILE MATERIAL, Geneve, 10-14, January, 1972. 6p.
57. NORRIS, C.B. Stresses within curved laminated beams of douglas-fir. USFS. Research Note FPL-020, 1963. 16p.
58. ORGANISATION FOR EUROPEAN ECONOMIC CO-OPERATION. EUROPEAN PRODUCTIVITY AGENCY, PARIS. Laminated timber. Paris. 1956. 129 p. (Project n. 113).
59. OROSZ, I. Some nondestructive parameters for prediction of strength of structural lumber. USFS. Research Paper FPL-100, 1968. 7p.
60. PAGE, M.W. Finger jointing. Aust. Timber J., (25): 85-95, 1959.
61. PFLAUMER, R.E. Engineering laminates (adhesives). London, Chapman & Hall, 1949.
62. RAMAKER, T.J. & DAVISTER, M.D. Predictiong performance of hardboard in I-beams. USFS. Research Paper FPL-185, 1972. 12p.
63. REGGIANI, J.C. & DAGUZÉ, D. La fabrication des éléments de structure en bois lamellé collé. Cahiers du Centre Technique du Bois, Paris, Sér. 6, n. 86, 1971. 35p.
64. RICHARDS, D.B. End gluing lumber. For.Prod.J., 8(3): 99-104, 1958.
65. SCHAFFER, E.L. et alii. Deasibility of producing a high-yield laminated structural products: general sumary. USFS. Research Paper FPL-175, 1972. 18p.
66. SKAAR, C. Effect of high Temperature on the rate of degradation and reduction of hygroscopicity of wood. In: Proceeding of Res. Conf. on High - Temperature Drying Effects on Mechanical Properties of Softwood lumber. U.S.D.A. Forestry Products Laboratory. Madison Wisc.

67. SOLTIS, L.A. Stress distribution due to negative moment-over block supports in a three-span continuous wood laminated beam. USFS. Research Note FPL-060, 1964. 25p.
68. SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARD. Standard specification for softwood stock glued laminated timber. África do Sul. (Trabalho não publicado).
69. STANGER, A.G. The relationship between the strength of laminated beams and the positions of defects. New Zealand Forestry Research Notes, 43, 1966. 15p.
70. STEVENS, G.H. Fatigue strength of phenolic laminated from 1 to 10 million cycles of repeated load. USFS. Research Note FPL-027, 1964. 28p.
71. ESTADOS UNIDOS. PRODUCTS LABORATORY. Durability of water-resistant wood working glues. Bulletin, n. 1530, 1956.
72. WANGAARD, F.F. The mechanical properties of wood. London, Chapman & Hall, 1950, 377 p.
73. WEIBULL, W. A statistical theory of the strength of materials. Stokolm, Swedish Royal Inst.Eng.Res.Proc., 1939.
74. WILKINSON, T.L. Elastic bearing constant of wood: effects of moisture content conditions. USFS. Research Paper FPL-235. 1974. 7p.
75. YOUNGS, R.L. Strength and related properties of mountain hemlock. USFS. Research Paper FPL-3, 1963. 12 p.
76. ZAHN, J.J. Strength of multiple-member structure. USFS. Research Paper FPL-139, 1970. 44p.
77. KOCH, P. & WOODSON, G.L. Laminated Butt-jointed logrun southern pine veneers into long beams of uniform high strength. For. Prod. J., 18(10): 45-51, 1968.
78. KOCH, P. & BOHANNAN, B. Beam strength as affected by placement of laminae. Forest Prod. J., 15(7):289-295, 1965.
79. KOCH, P. Super-strength of beams with laminae located according to stiffness. For. Prod. J., 14(10):456-460, 1964.

80. DURABILITY of water resistant wood working glues. Bulletin. U.S. Forest Products Laboratory, 1530, 1956.
81. CALLIA, V. W. A. madeira laminada e colada de pinho do Paraná nas estruturas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Bol. 47, 1958. S. Paulo. 58 p.
82. WARDLE, T.M. Glue- laminated timber beams- depth factor and defect dispersal factor. Separata New Zealand Forest Service. (2), 4.
83. BORGIN, K. The failure of the ultrastructure of wood under mechanical stresses. In. International union of forestry research organizations.(2), 58-65. 1973. Republic of South Africa.

A P E N D I C E

QUADRO 1 - RESULTADOS DOS TESTES DE FLEXÃO, DE VIGAS DE 7,2 cm x 19,5 cm x 500 cm.

VPM - Vigas de Pinus elliottii, madeira maciça..

Resultados não corrigidos a 12% de umidade.

Identi- ficação	Dimensão (cm)		Umidade (%)	Peso* específico (g/cm ³)	Módulo Elasticidade (kg/cm ²)	Módulo Ruptura (kg/cm ²)	Tensão Cizalhamento (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Carga LP** (kg)
VPM 1	7,21	19,50	15,35	0,340	56.012	219,18	8,41	1.575	980
VPM 2	7,22	19,50	11,40	0,337	46.765	240,06	9,21	1.725	850
VPM 3	7,22	19,50	15,00	0,341	45.627	190,24	7,30	1.367	850
VPM 4	7,20	19,50	13,00	0,343	53.161	244,51	9,39	1.757	1000
VPM 5	7,20	19,51	14,70	0,338	49.902	214,59	8,24	1.542	950
VPM 6	7,20	19,50	16,30	0,346	58.058	295,30	11,34	2.122	1150
VPM 7	7,21	19,50	16,70	0,335	59.921	269,98	10,36	1.940	1100
VPM 8	7,20	19,50	13,90	0,336	49.639	240,75	9,24	1.730	850
VPM 9	7,20	19,50	13,70	0,340	44.649	254,67	9,78	1.830	850
VPM 10	7,20	19,50	14,70	0,343	52.252	214,31	8,23	1.540	900

* Peso específico básico aparente.

** Limite proporcional.

QUADRO 2 - RESULTADOS DOS TESTES DE FLEXÃO, DE VIGAS DE 7,2 cm x 19,5 cm x 400 cm.

VPF - Viga laminada de Pinus elliottii, composta de 15 lâminas de 13 mm.

Resultados não corrigidos a 12% de umidade.

Identi- ficação	Dimensão (cm)		Umidade (%)	Peso* específico (g/cm ³)	Módulo Elasticidade (kg/cm ²)	Módulo Ruptura (kg/cm ²)	Tensão Cizalhamento (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Carga LP** (kg)
VPF 1	7,20	19,51	15,00	0,371	52.139	269,52	10,35	1.937	1000
VPF 2	7,20	19,50	15,30	0,367	52.432	236,92	9,09	1.702	900
VPF 3	7,21	19,50	15,40	0,379	58.185	226,86	8,70	1.630	900
VPF 4	7,21	19,50	15,50	0,357	56.133	297,46	11,42	2.137	1100
VPF 5	7,20	19,49	15,45	0,361	49.739	297,46	11,42	2.137	1050
VPF 6	7,21	19,51	15,35	0,370	51.888	257,45	9,88	1.850	850
VPF 7	7,20	19,52	15,20	0,363	59.184	340,30	12,70	2.377	1250
VPF 8	7,20	19,50	15,45	0,361	62.252	286,19	10,98	2.056	1200
VPF 9	7,21	19,51	15,70	0,363	56.720	243,88	9,36	1.752	950
VPF 10	7,21	19,51	15,35	0,360	57.469	309,64	11,88	2.225	1200
VPF 11	7,19	19,50	15,50	0,355	58.326	293,28	11,26	2.107	1250
VPF 12	7,20	19,50	15,65	0,368	57.928	285,28	10,81	2.025	1050
VPF 13	7,20	19,50	15,40	0,364	57.599	362,14	13,51	2.530	1200
VPF 14	7,20	19,51	15,10	0,368	68.921	255,71	9,81	1.837	1050
VPF 15	7,19	19,50	15,65	0,369	57.599	352,77	13,54	2.535	1250

* Peso específico básico aparente.

** Limite proporcional.

QUADRO 3 - RESULTADOS DOS TESTES DE FLEXÃO, DE VIGAS DE 7,2 cm x 19,5 cm x 400 cm.

VPG - Viga laminada de Pinus elliottii, composta de 8 lâminas de 24,3 mm.

Resultados não corrigidos a 12% de umidade.

Identi- ficação	Dimensão (cm)		Umidade (%)	Peso* específico (g/cm ³)	Módulo Elasticidade (kg/cm ²)	Módulo Ruptura (kg/cm ²)	Tensão Cizalhamento (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Carga LP** (kg)
VPG 1	7,20	19,50	16,40	0,339	44.555	221,5	8,50	1.592	900
VPG 2	7,20	19,50	16,10	0,339	52,396	192,0	7,37	1.380	950
VPG 3	7,21	19,50	16,20	0,348	43,858	211,1	8,10	1.517	930
VPG 4	7,21	19,51	16,20	0,340	48,035	176,0	6,75	1.265	950
VPG 5	7,20	19,50	15,70	0,341	51,590	270,6	10,39	1.945	900
VPG 6	7,19	19,50	15,90	0,350	48,145	230,6	8,8	1.657	960
VPG 7	7,20	19,50	16,70	0,347	47,049	173,7	9,25	1.300	930
VPG 8	7,20	19,50	16,00	0,339	47,889	185,3	9,87	1.387	900
VPG 9	7,20	19,50	15,50	0,340	39,315	198,7	7,94	1.487	750
VPG 10	7,21	19,50	15,00	0,345	45,104	176,0	6,75	1.265	850

* Peso específico básico aparente.

** Limite proporcional.

QUADRO 4 - RESULTADOS DOS TESTES DE FLEXÃO, DE VIGAS DE 7,2 cm x 19,5 cm x 400 cm.

VPM - Viga de Pinus elliottii, madeira maciça.

Resultados corrigidos a 12% de umidade.

Identificação	Dimensão (cm)		Umidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Módulo Elasticidade (kg/cm ²)	Módulo Ruptura (kg/cm ²)	Tensão Cizalhamento (kg/cm ²)
	Largura	Altura					
VPM 1	7,21	19,50	12,00	0,340	58.827	248,55	9,54
VPM 2	7,22	19,50	12,00	0,337	46.344	234,30	8,99
VPM 3	7,22	19,50	12,00	0,341	47.680	213,07	8,18
VPM 4	7,20	19,50	12,00	0,343	53.958	254,29	9,77
VPM 5	7,20	19,51	12,00	0,338	51.923	237,77	9,13
VPM 6	7,20	19,50	12,00	0,346	61.802	346,09	13,29
VPM 7	7,21	19,50	12,00	0,335	64.145	320,74	12,31
VPM 8	7,20	19,50	12,00	0,336	51.053	259,05	9,94
VPM 9	7,20	19,50	12,00	0,340	45.787	271,99	10,45
VPM 10	7,20	19,50	12,00	0,343	54.368	237,46	9,12

* Peso específico básico aparente.

QUADRO 5 - RESULTADOS DOS TESTES DE FLEXÃO, DE VIGAS DE 7,2 cm x 19,5 cm x 400 cm.

VPF - Viga laminada de Pinus elliottii, composta de 15 lâminas de 13 mm.

Resultados corrigidos a 12% de umidade.

Identi- ficação	Dimensão (cm)		Umidade (%)	Peso* específico (g/cm ³)	Módulo Elasticidade (kg/cm ²)	Módulo Ruptura (kg/cm ²)	Tensão Cizalhamento (kg/cm ²)
VPF 1	7,20	19,51	12,00	0,371	54.485	301,8	11,59
VPF 2	7,20	19,50	12,00	0,367	55.027	268,2	10,29
VPF 3	7,21	19,50	12,00	0,379	61.152	254,6	9,88
VPF 4	7,21	19,50	12,00	0,357	59.079	239,1	13,02
VPF 5	7,20	19,49	12,00	0,361	52.312	238,6	13,00
VPF 6	7,21	19,51	12,00	0,370	54.495	291,9	11,20
VPF 7	7,20	19,52	12,00	0,363	62.025	383,9	14,33
VPF 8	7,20	19,50	12,00	0,361	65.473	325,7	12,50
VPF 9	7,21	19,51	12,00	0,363	59.867	280,0	10,75
VPF 10	7,21	19,51	12,00	0,360	60.356	315,1	13,47
VPF 11	7,19	19,50	12,00	0,355	61.388	334,4	12,84
VPF 12	7,20	19,50	12,00	0,368	61.099	326,9	12,39
VPF 13	7,20	19,50	12,00	0,364	60.536	411,3	15,35
VPF 14	7,20	19,51	12,00	0,368	72.125	287,4	11,03
VPF 15	7,19	19,50	12,00	0,369	60.752	404,3	15,52

* Peso específico básico aparente.

QUADRO 6 - RESULTADOS DOS TESTES DE FLEXÃO, DE VIGAS DE 7,2 cm x 19,5 cm x 400 cm.

VPG - Viga laminada de Pinus elliottii, composta de 8 lâminas de 24,3 mm.

Resultados corrigidos a 12% de umidade.

Identi- ficação	Dimensão (cm)		Umidade (%)	Peso* específico (g/cm ³)	Módulo Elasticidade (kg/cm ²)	Módulo Ruptura (kg/cm ²)	Tensão Cizalhamento (kg/cm ²)
VPG 1	7,20	19,50	12,00	0,339*	47.495	260,5	10,00
VPG 2	7,20	19,50	12,00	0,339	55.618	223,5	8,58
VPG 3	7,21	19,50	12,00	0,348	46.621	246,5	9,46
VPG 4	7,21	19,51	12,00	0,340	51.061	205,6	7,88
VPG 5	7,20	19,50	12,00	0,341	54.453	309,9	11,93
VPG 6	7,19	19,50	12,00	0,350	50.961	266,6	10,17
VPG 7	7,20	19,50	12,00	0,347	50.365	206,4	10,99
VPG 8	7,20	19,50	12,00	0,339	50.762	215,2	11,45
VPG 9	7,20	19,50	12,00	0,340	41.379	226,5	9,05
VPG 10	7,21	19,50	12,00	0,345	47.133	197,1	7,56

* Peso específico básico aparente.

QUADRO 7 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Porcentagem de umidade nas vigas de Pinus elliottii.

	T ₁	T ₂	T ₃
	VPM	VPF	VPG
X	14,48	15,40	15,97
S ²	2,44	0,04	0,23
S	1,56	0,20	0,48

X média

S² variância

S desvio padrão

T Tratamento.

QUADRO 8 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Peso específico básico aparente nas vinas de Pinus elliottii.

	T ₁	T ₂	T ₃
	VPM	VPF	VPG
X	0,339	0,365	0,343
S ²	-	-	-
S	0,003	0,006	0,004

X média

S² variância

S desvio padrão

T Tratamento.

QUADRO 9 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Módulo de Elasticidade nas vigas de Pinus elliottii.

Dados não corrigidos a 12% de umidade				Dados corrigidos a 12% de umidade			
	T ₁	T ₂	T ₃		T ₁	T ₂	T ₃
	VPM	VPF	VPG		VPM	VPF	VPG
X	51.599	57.100	46.793		46.793	53.588	49.585
S ²	27.485.713,33	21.675.195,00	14.604.235,55		40.505.305,54	23.709.377,14	16.962.703,33
S	5.242,68	4.655,66	3.821,55		6.364,38	4.869,23	4.118,58

X média

S² variância

S desvio padrão

T Tratamento.

QUADRO 10 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Módulo de Ruptura nas vigas de Pinus elliottii.

	Dados não corrigidos a 12% de umidade			Dados corrigidos a 12% de umidade		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
	VPM	VPF	VPG	VPM	VPF	VPG
X	238,36	287,66	203,5	262,33	310,9	235,78
S ²	931,25	1.694,73	945,07	16.91,16	3.036,00	1.233,36
S	30,52	41,17	30,74	41,12	55,10	35,12

X média

S² variância

S desvio padrão

T Tratamento.

QUADRO 11 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Tensão de Cisalhamento nas vigas de Pinus elliottii.

	Dados não corrigidos a 12% de umidade			Dados corrigidos a 12% de umidade		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
	VPM	VPF	VPG	VPM	VPF	VPG
X	9,15	10,98	8,37	10,07	12,50	9,71
S ²	1,37	2,26	1,53	2,50	2,97	2,18
S	1,17	1,50	1,24	1,58	1,71	1,48

X média

S² variância

S desvio padrão

T Tratamento.

QUADRO 12 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Carga Máxima nas vigas de Pinus elliottii.

	Dados não corrigidos a 12% de umidade		
	T ₁	T ₂	T ₃
	VPM	VPF	VPG
X	1.712	2.055	1.479
S ²	48.088,62	79.012,03	45.001,39
S	219,29	281,03	212,14

X média

S² variância

S desvio padrão

T Tratamento.

QUADRO 13 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Carga Limite Proporcional nas vigas de Pinus elliottii.

Dados não corrigidos a 12% de umidade			
	T ₁	T ₂	T ₃
	VPM	VPF	VPG
X	953	1.080	902
S ²	11.201,11	19.571,43	3.928,99
S	105,84	139,90	62,68

X média

S² variância

S desvio padrão

T Tratamento.

QUADRO 14 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.*

Porcentagem de umidade.

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	11,45	5,73	7,45
Resíduo	32	24,61	0,07	
Total	34	36,06		*

$$F_{\text{tab. } .05(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	*	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 15 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.

Peso específico básico aparente.

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	0,004863	0,00243	8,10
Resíduo	32	0,00080	0,0003	
Total	34	0,00566		*

$$F_{\text{tab. } .05(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 16 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey. *

Módulo de Elasticidade (dados não corrigidos a 12% de u.)

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	651.037.750	325.518.875	15,27
Resíduo	32	682.262.280	21.320.696	
Total	34	1.333.300.030		*

$$F_{\text{tab. } .05(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 17 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.*

Módulo de Elasticidade (dados corrigidos a 12% de u.)

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	688.510.800	344.255.400	12,97
Resíduo	32	849.142.100	26.535.690	
Total	34	1.537.652.900		*

$$F_{\text{tab. .05}} (2,32) = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 18 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.*

Módulo de Ruptura (dados não corrigidos a 12% de u.)

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	44.193,57	22.096,79	17,41
Resíduo	32	40.610,16	1.269,07	
Total	34	84.803,74		*

$$F_{\text{tab. .05}(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 19 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.*

Módulo de Ruptura (dados corrigidos a 12% de u.)

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	36.287,08	18.143,54	8,43
Resíduo	32	68.824,29	2.150,76	
Total	34	105.111,37		*

$$F_{\text{tab. } .05(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 20 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.*

Tensão de Cizalhamento(dados não corrigidos a 12% de u.)

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	45,26	22,63	12,53
Resíduo	32	57,77	1,81	
Total	34	103,03		*

$$F_{\text{tab. .05}(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 21 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.*

Tensão de Cisalhamento(dados corrigidos a 12% de u.)

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	58,07	29,04	11,09
Resíduo	32	83,74	2,62	
Total	34	141,81		*

$$F_{\text{tab}..05(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 22 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.*

Carga Máxima (dados não corrigidos a 12% de u.)

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	2.083.099	1.041.549	17,14
Resíduo	32	1.943.978	60.749	
Total	34	4.027.078		*

$$F_{\text{tab. } .05(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T Tratamento.

*. Para o nível de 95% de probabilidade.

QUADRO 23 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância e teste de Tukey.*

Carga Limite proporcional.

(dados não corrigidos a 12% de umidade.)

ANOVA

Fonte de Variação	gl	SQ	MQ	F'
Tratamento	2	212.344	106.167	8,28
Resíduo	32	410.170	12.817	
Total	34	622.514		*

$$F_{\text{tab. } .05(2,32)} = 3,32$$

TESTE DE TUKEY

	T ₁	T ₂	T ₃
T ₃	NS	*	/
T ₂	*	/	/
T ₁	/	/	/

T - Tratamento.

* Para o nível de 95% de probabilidade.

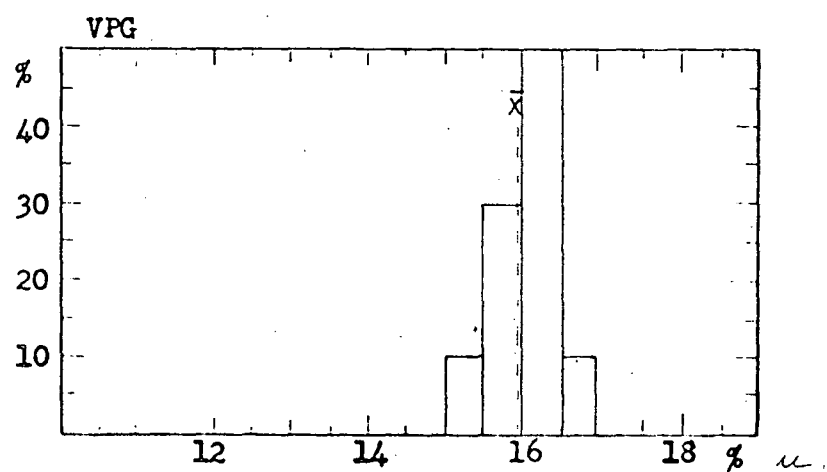
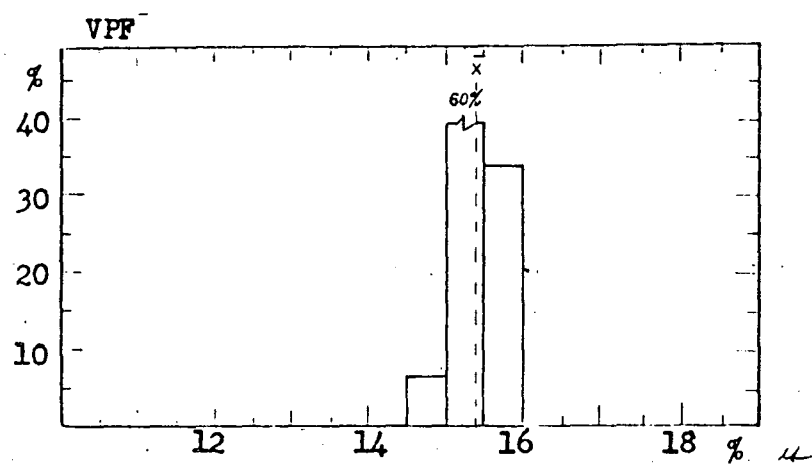
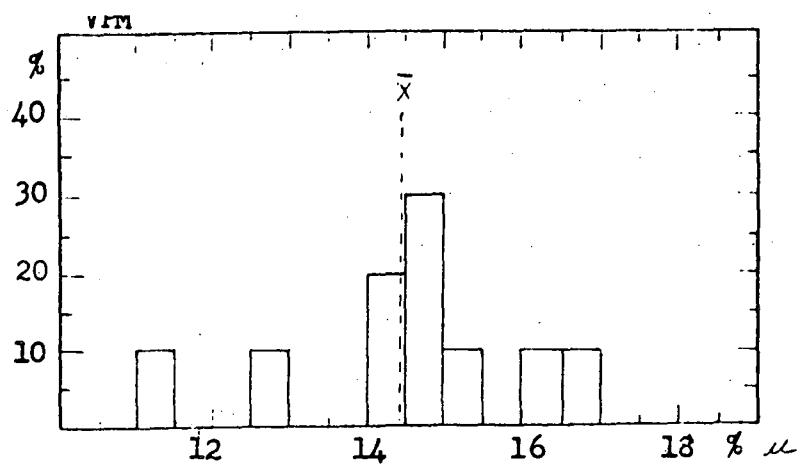


FIGURA 8 - Frequência do conteúdo de umidade para as vigas tipo VPM, VPF e VPG.

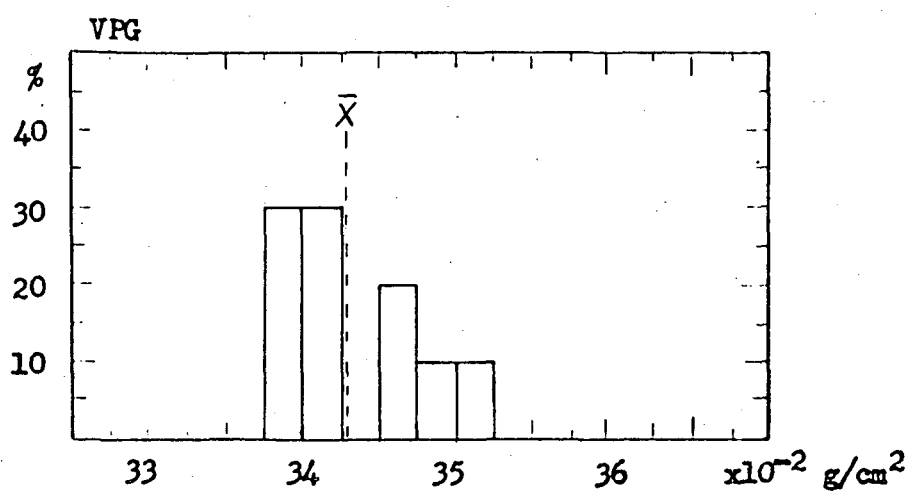
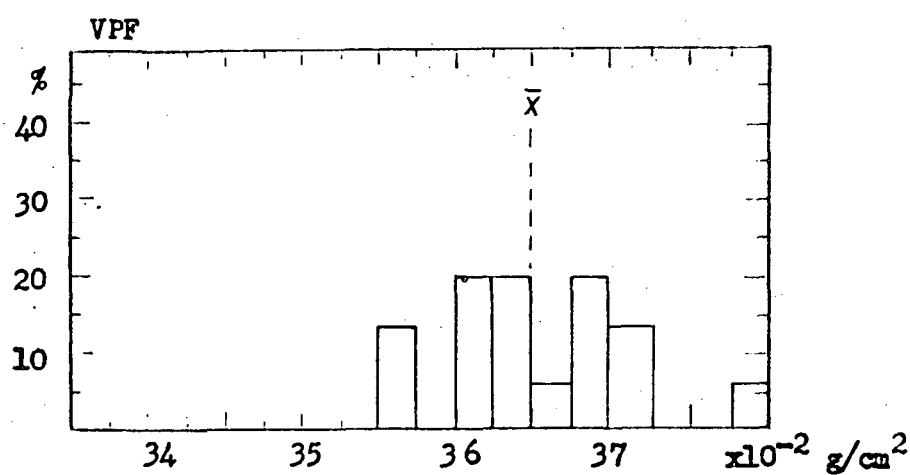
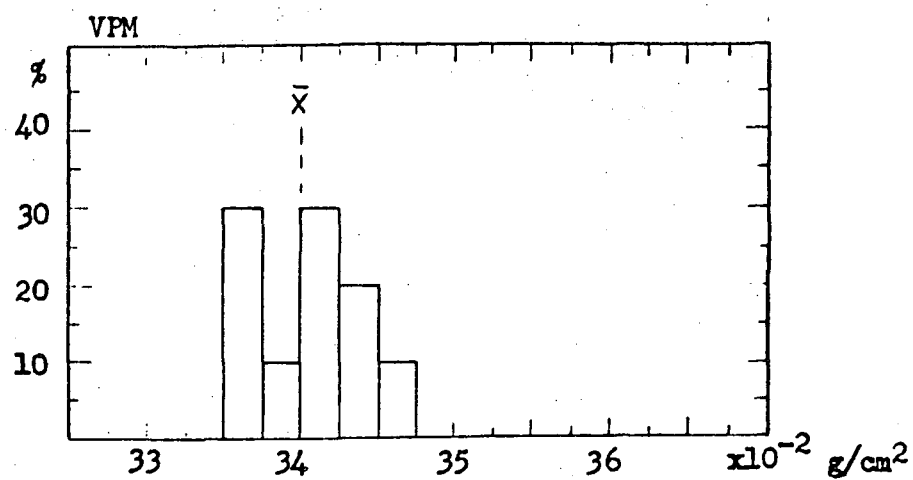


FIGURA 9 - Frequência do peso específico básico aparente, para vigas tipos VPM, VPF e VPG.

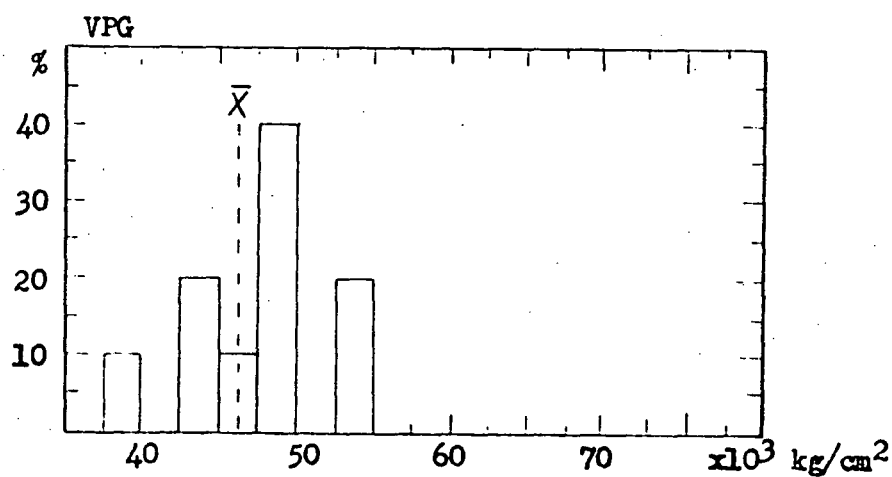
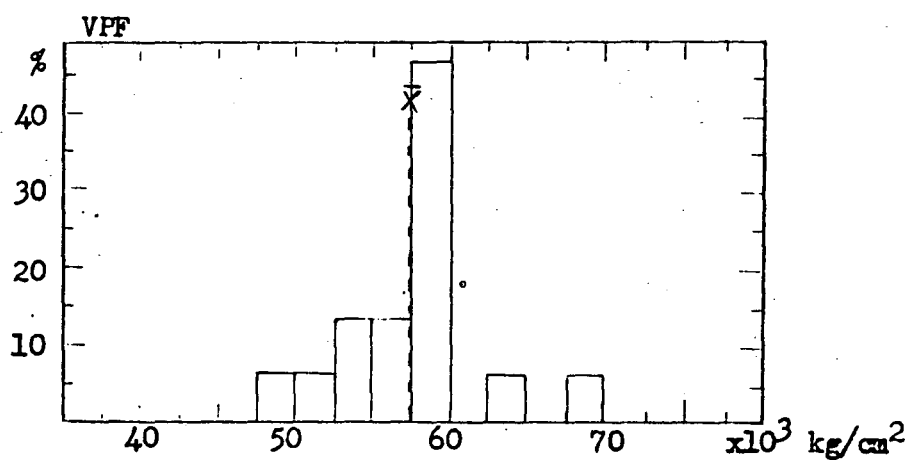
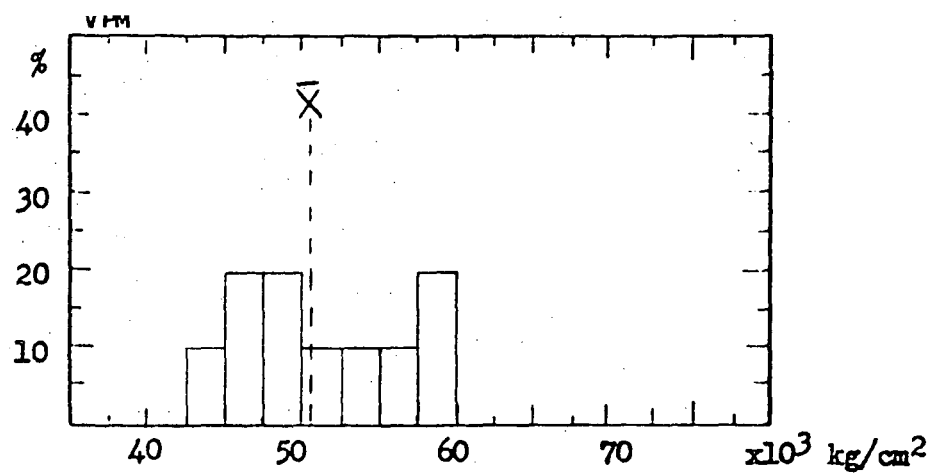


FIGURA 10 - Frequência do módulo de elasticidade, não corrigido para 12% de umidade, para as vigas tipos VPM, VPF e VPG.

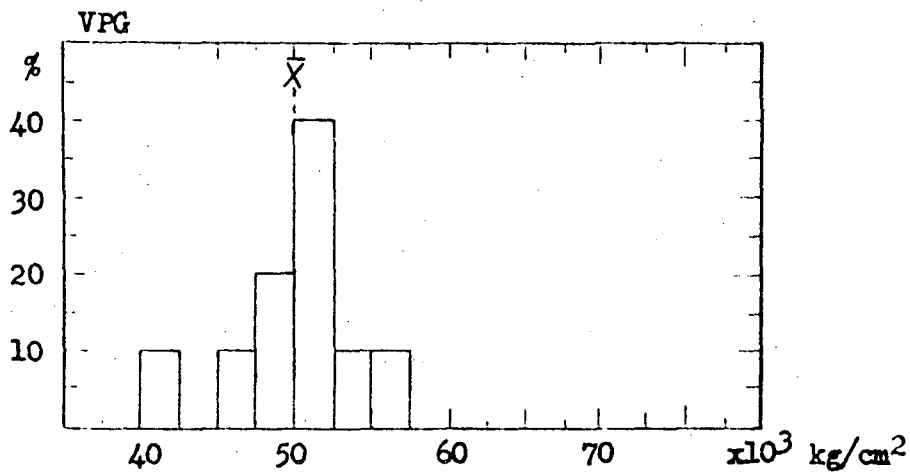
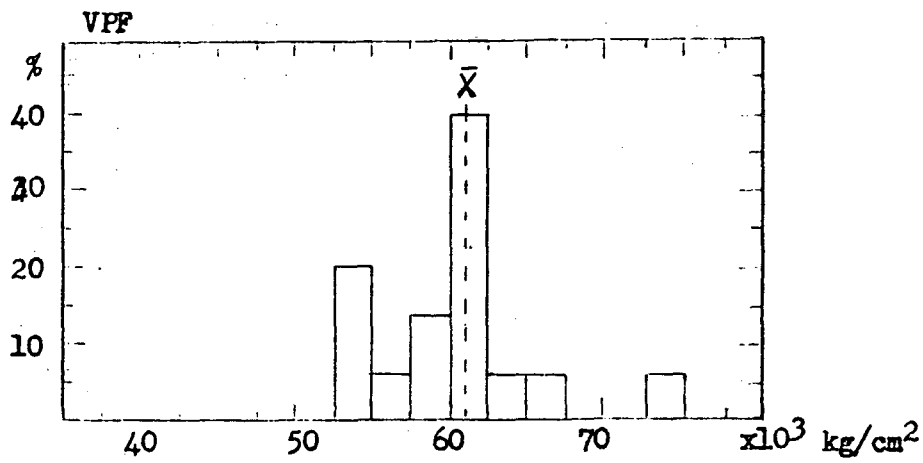
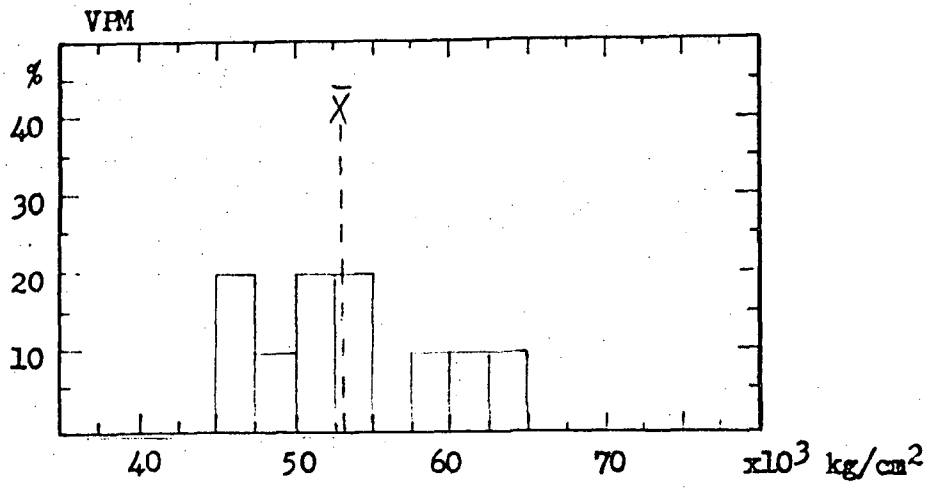


FIGURA 11 - Frequência do módulo de elasticidade, corrigidos pra 12% de umidade, para as vigas tipo VPM, VPF e VPG.

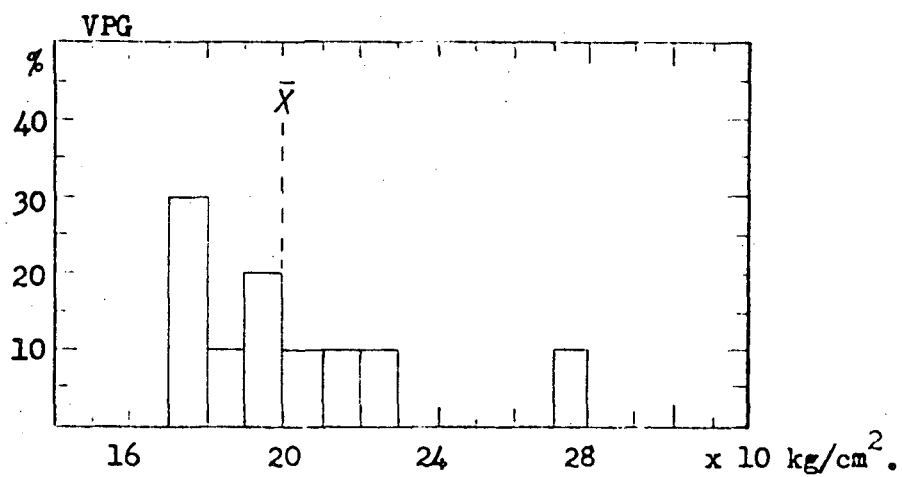
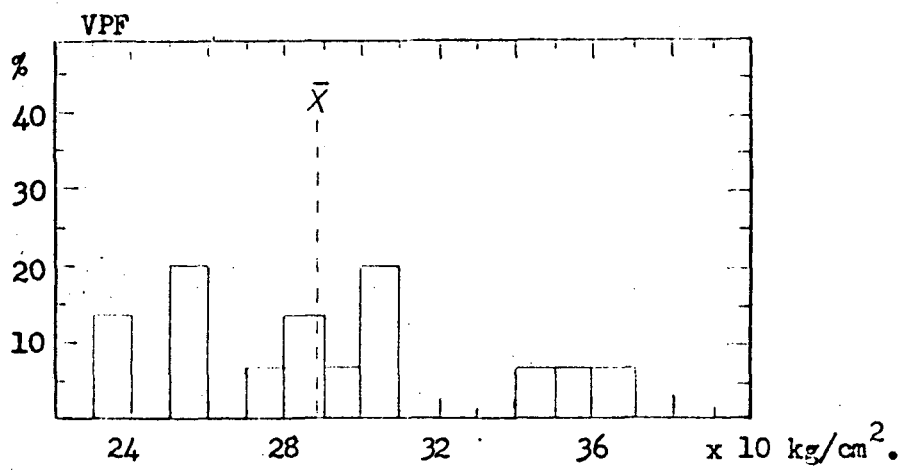
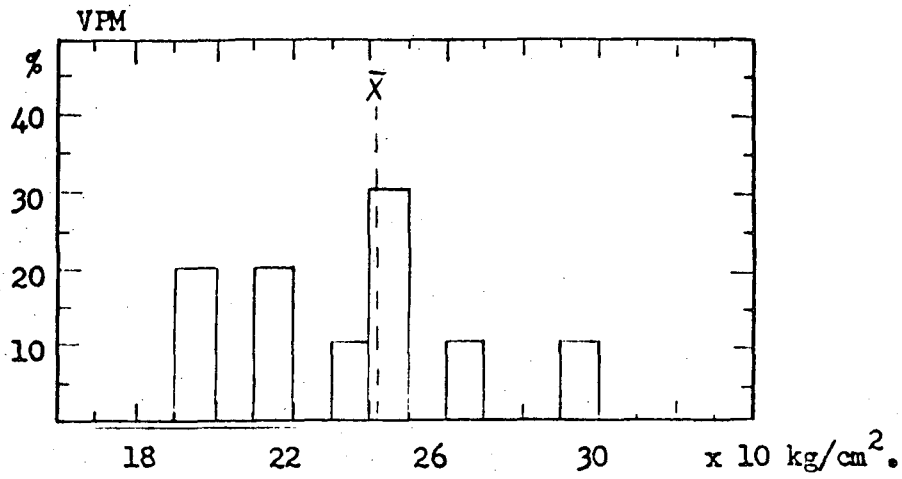


FIGURA 12 - Frequência do módulo de ruptura não corrigido para 12% de umidade, para as vigas tipo VPM, VPF e VPG.

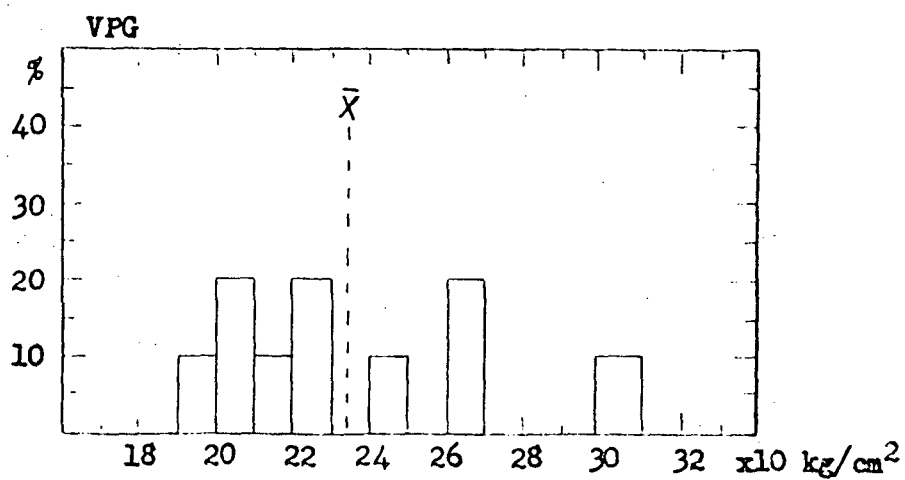
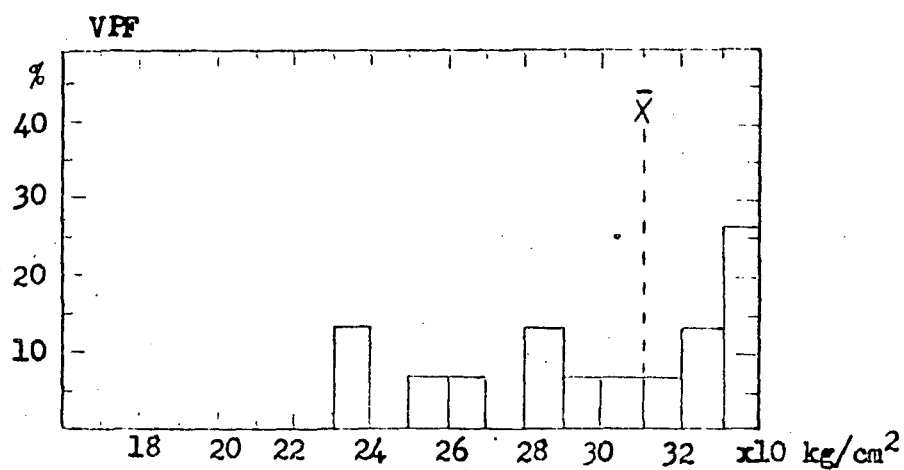
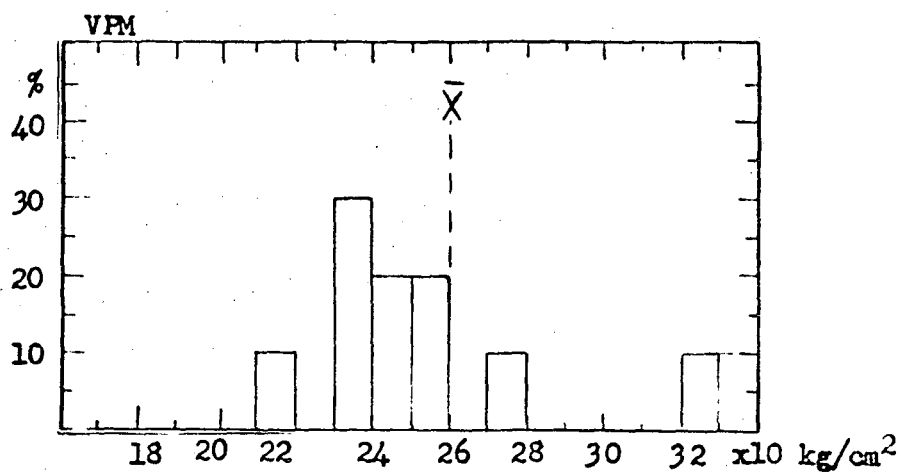


FIGURA 13 - Frequência do módulo de ruptura, corrigido para 12% de umidade, para as vigas tipo VPM, VPF e VPG.

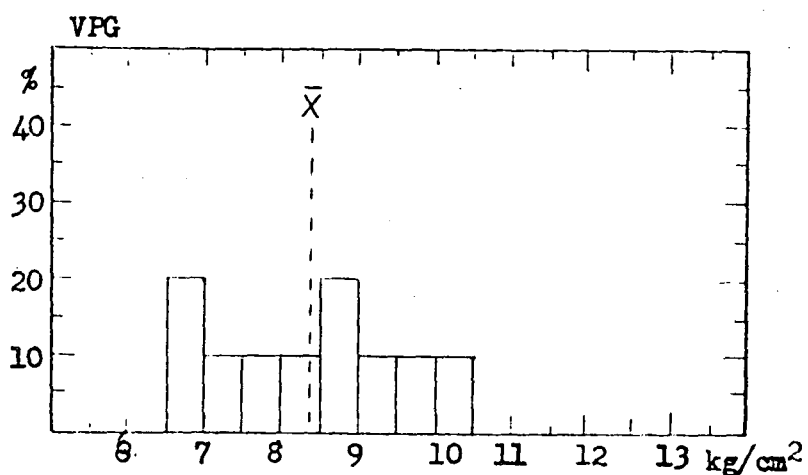
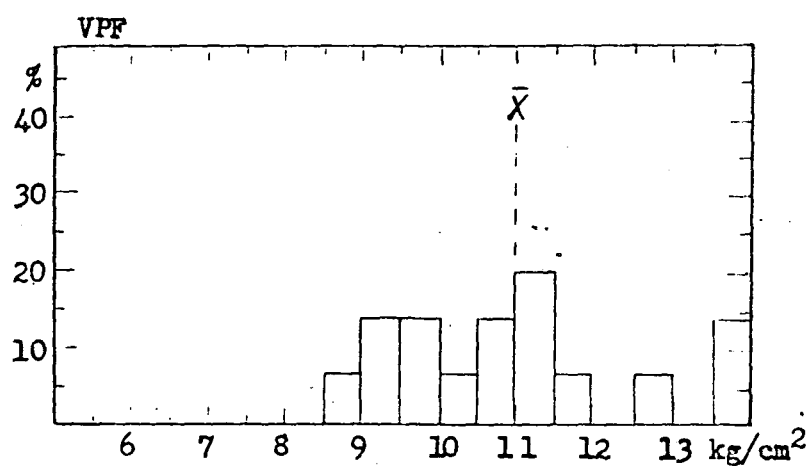
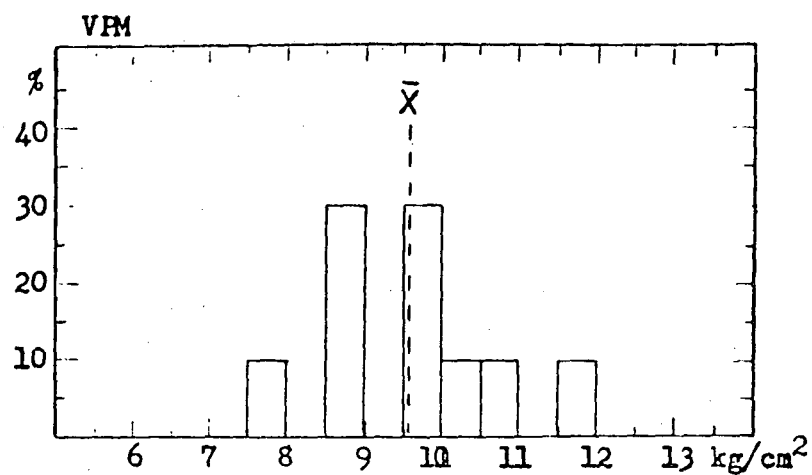


FIGURA 14 - Frequência do valor de cisalhamento, não corrigidos para 12% de umidade, para as vigas tipo VPM, VPF e VPG.

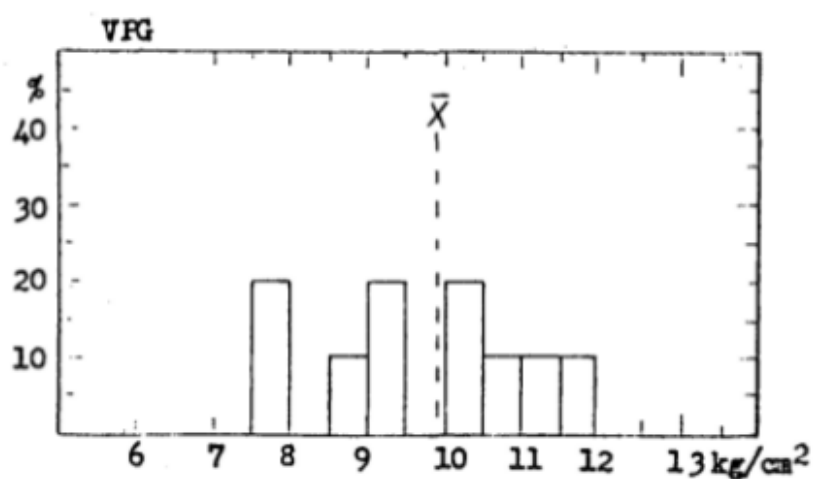
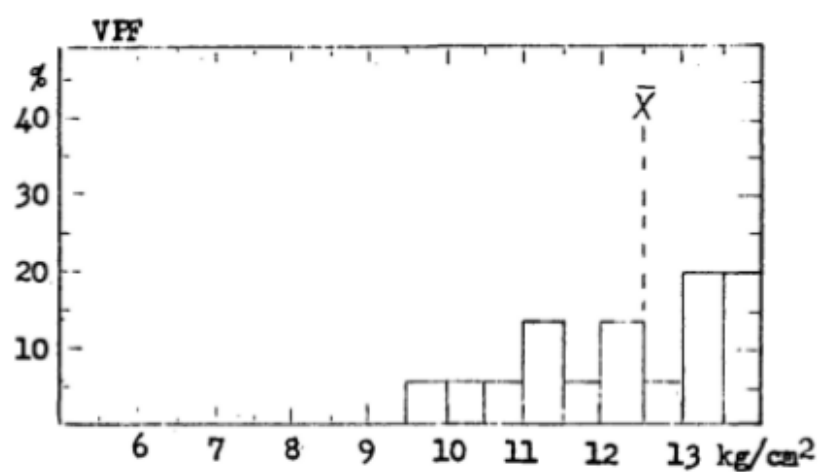
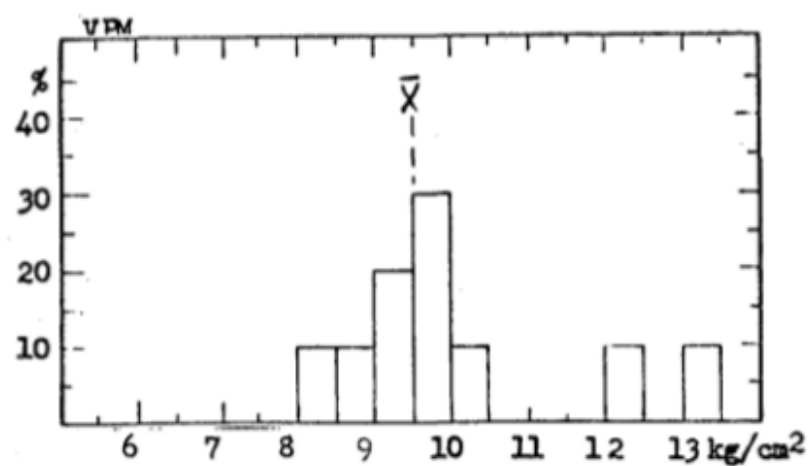
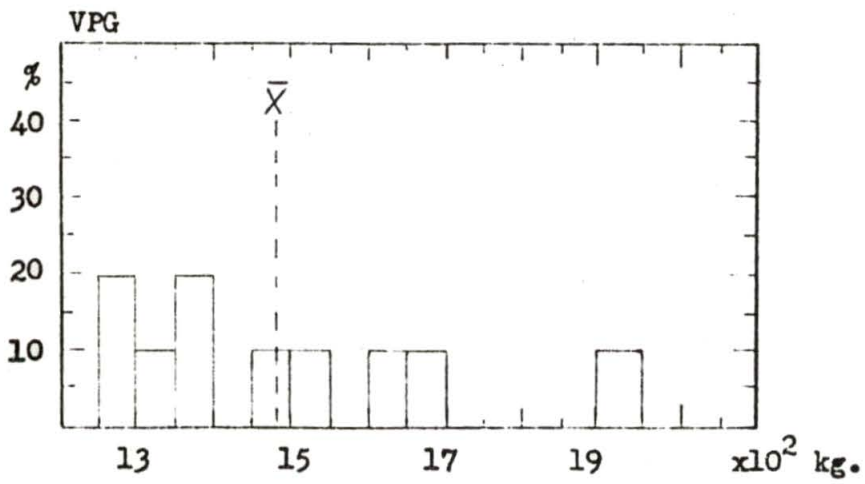
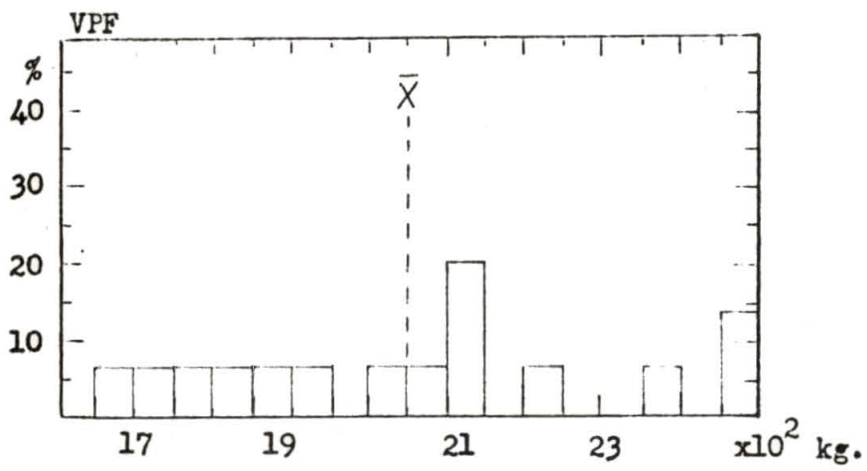
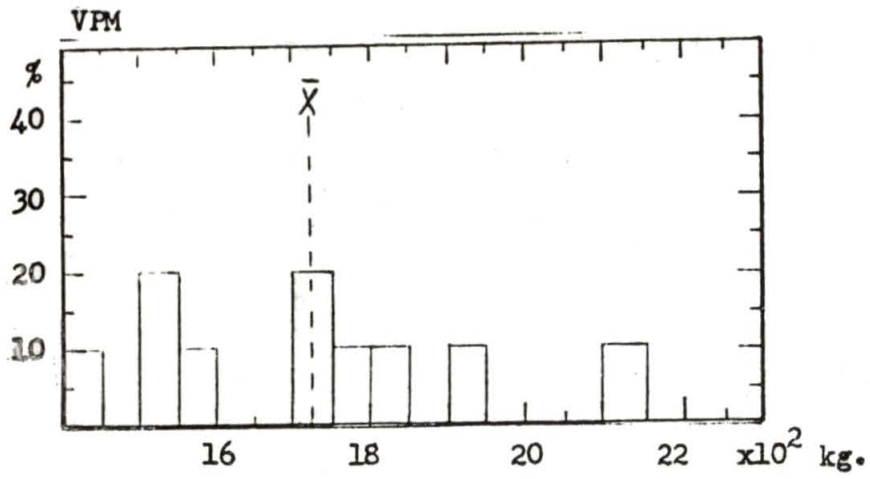


FIGURA 15 - Frequência do valor de cisalhamento, corrigido para 12% de umidade, para as vigas tipo VPM, VPF e VPG.



FUGURA 16 - Frequência do valor da carga máxima, para as vigas tipo VPM, VPF e VPG.

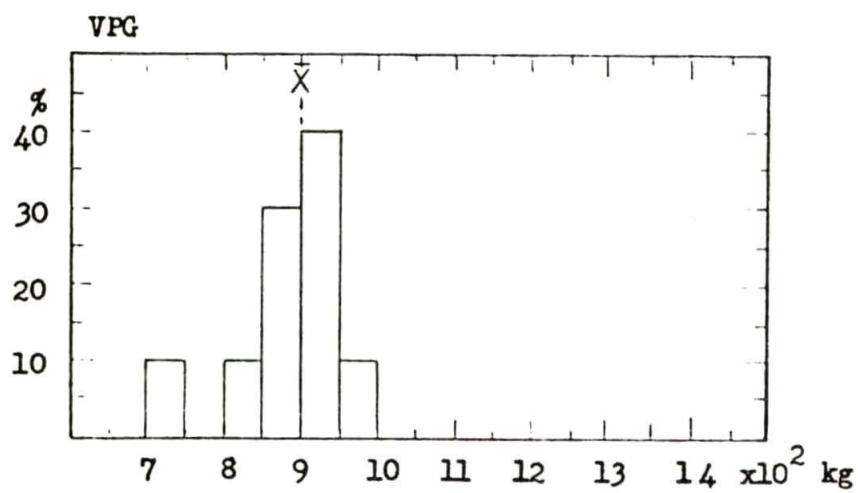
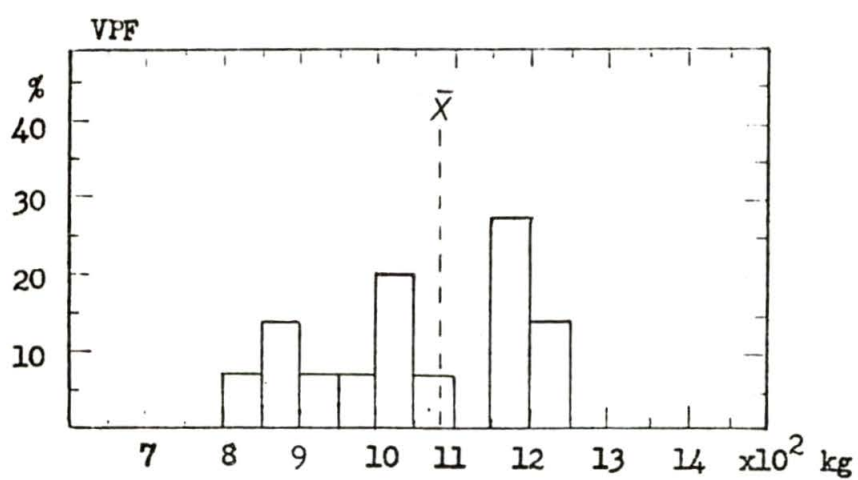
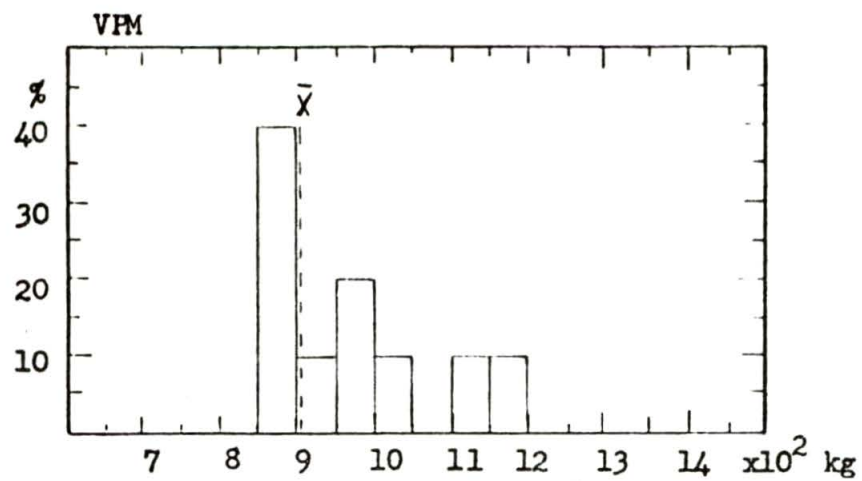


FIGURA 17 - Frequência do valor da carga no limite proporcional, para as vigas tipo VPM, VPF e VPG.

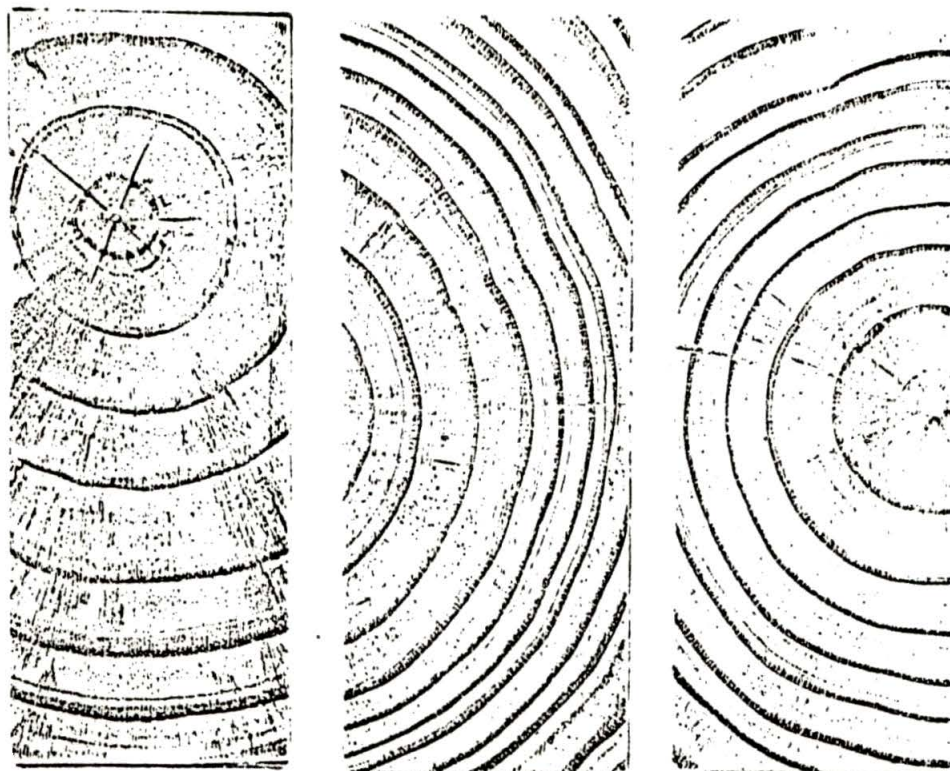


FIGURA 18 - Secção transversal das vigas maciças (tipo).

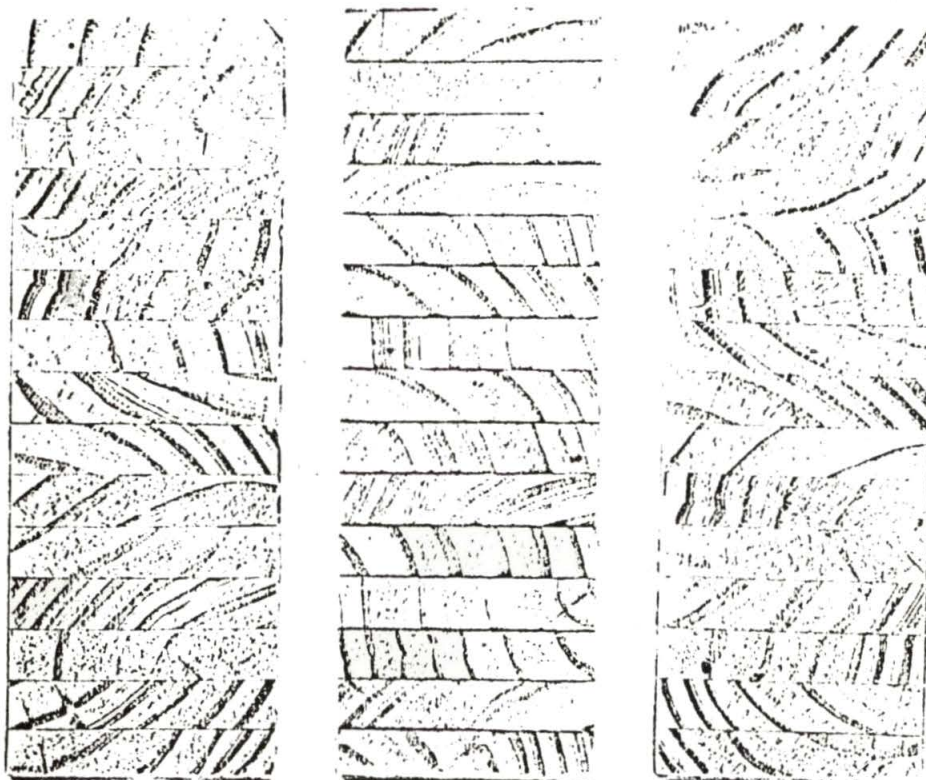


FIGURA 19 - Secção transversal das vigas laminadas VPF (tipo).

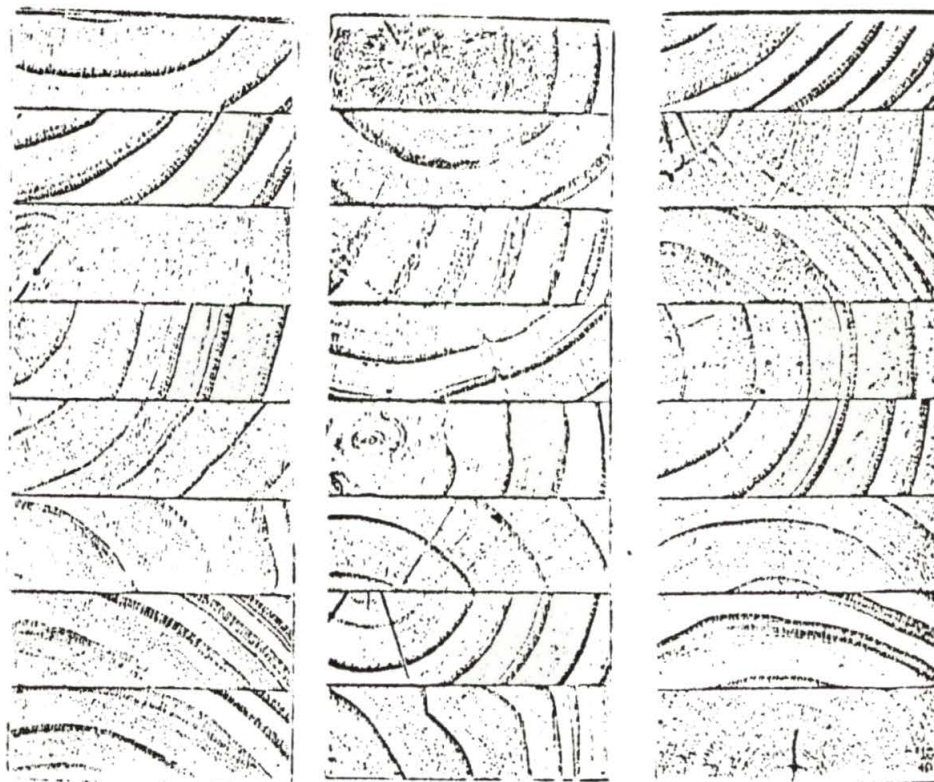


FIGURA 20 - Secção transversal das vigas laminadas VPG (tipo).